

HANDBUCH

der

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

für Vorlesungen.

Von

Dr. Johannes Müller,

ordentl. öffentl. Professor der Anatomie und Physiologie an der Königl. Friedrich Wilhelms-Universität und an der Königl. medicin.-chirurg. Militär-Academie in Berlin, Director des Königl. anatom. Museums und anatom. Theaters; Ritter des Rothen Adlerordens 4. Classe; Mitglied der Königl. Academieen der Wissenschaften zu Berlin und zu Stockholm, Correspondent der Kaiserl. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg, der Königl. Academie der Wissenschaften zu Turin, Mitglied der Königl. Soc. d. Wissensch. zu Göttingen und Upsala.

Zweiten Bandes zweite Abtheilung.

Mit Königlich Würtembergischen Privilegien.

Coblenz,
Verlag von J. Hölscher.
1838.

Nachträge und Berichtigungen.

I. Band, dritte Auflage.

Seite 381. wo die Wirkungen des organischen Fasersystems erläutert werden, sind zwei Thesen aufgestellt, dass es entweder mit den Ganglien die unwillkührliche vom Gehirn und Rückenmark unabhängige Bewegung vermittele, oder den chemischen Processen der Absonderung und der Veränderung der Materie diene. Für diese Thesen wurden theils experimentelle, theils anatomische Thatsachen beigebracht, ohne dass ein entschiedenes Uebergewicht der Gründe zur Feststellung einer dieser Ansichten berechtigte. Doch tritt eine Begünstigung der letztern Ansicht in der Darstellung hervor. Zufolge einiger neuern Beobachtungen von Remak wird der Antheil der Ganglien an der unwillkührlichen Bewegung in so weit wahrscheinlicher, als Remak an den auf der Oberfläche des Herzens verlaufenden Aesten der Herznerven, beim Kalb viele kleine mikroskopische Ganglien gefunden hat. Vergl. die im zweiten Bande p. 70. aufgestellte Hypothese. Vielleicht lassen sich beide Ansichten vereinigen.

II. Band.

Seite 310. Z. 15. über den Bau der Augen bei den Spinnen und die Vereinigung der Charactere der zusammengesetzten Augen mit denen der einfachen, siehe Brants in *Tydschrift voor natuurlyke geschiedenis.* 4. 1. *und* 2. *Stück. p.* 135.

— 322. Z. 5. v. u. über Richtungslinien des Sehens vergl. Mile in Pogggend. *Ann.* 1837. *N.* 9. *p.* 37.

— 316. Z. 12. v. u. über den Bau der Retina vergl. Valentin *Repert.* 1837. 2.

— 440. Z. 10. v. u. In Beziehung auf die hier angeführten Gründe für die Meinung, dass das Knacken von einer willkührlichen Zusammenziehung des Musculus tensor tympani herrühre, bemerke ich nachträglich, dass mir nach reiflicherer Erwägung jene Gründe zu einem Beweise nicht hinreichend scheinen.

— 441. Z. 4. Der knackende Ton kann ferner mit dem brummenden p. 440. unten beschriebenen zugleich erfolgen, aber auch davon isolirt werden. Bringe ich die Bewegung für beide hervor, und gebe gleich darauf einen summenden Ton der Stimme bei geschlossenem oder wenig geöffnetem Munde an, so hat dieser eine ausserordentliche Resonanz, und es muss in Folge jener Bewegung etwas verändert seyn, wodurch etwas stark resonirt, was vorher schwach oder gar nicht resonirte. Die Resonanz des Tons der eignen Stimme ist so stark, dass es wie Orgelton klingt. Die Bewegung zum Knacken scheint die Resonanz nicht einzuleiten, sondern die zweite Art der Bewegung thut es, denn ich kann die Bewegung des Knackens isoliren, ohne dass die Stimme resonirt. Ich kann ferner die Resonanz auf dem

einen und andern Ohr isolirt eintreten lassen. Eine Erklärung dieser Erscheinung will mir nicht gelingen. Noch ein anderes Resonanzphänomen des Ohrs verdient hier erwähnt zu werden. Dieses kann jeder leicht beobachten, was mit dem vorhererwähnten nicht der Fall ist. Wenn man irgend einen Ton bei zugehaltenem Mund summend singt, und mit den lose eingesteckten Fingern seiner Hand die beiden Ohröffnungen deckt, ohne fest an zu drücken, so hört man seinen Stimmton viel stärker als zuvor, aber mit einer eigenen dumpfen Resonanz in den Ohren, wie Orgelton. Wenn der Finger tiefer und fest eindrückt, so hört die Resonanz auf. Man kann, wenn man den Finger bloss lose in das eine Ohr hält, die Resonanz auch auf diesem einen Ohre hören. Der Klang bei diesem Resonanzphänomen ist ähnlich demjenigen bei dem vorherbeschriebenen, aber sehr viel schwächer.

Seite 473. Z. 15. Die obigen Figuren können auch die Veränderung des Klanges eines Instrumentes durch Resonanz erläutern. Die kleinste Veränderung eines resonirenden Körpers verändert seinen Klang, wahrscheinlich indem die Abwerfung der Wellen verändert wird. Da nun die Kreuzung der primitiven Wellen mit den resonirenden Wellen äusserst mannigfaltig seyn kann, so kann auch der Klang von Resonanz äusserst mannigfaltig seyn.

Berlin, gedruckt bei den Gebrüdern Unger.

Der
speciellen Physiologie
Fünftes Buch.

Von den Sinnen.

Der speciellen Physiologie

Fünftes Buch.

Von den Sinnen.

Nothwendige Vorbegriffe.

Die Sinne unterrichten uns von den Zuständen unseres Körpers durch die eigenthümliche Empfindung der Sinnesnerven, sie unterrichten uns auch von den Eigenschaften und Veränderungen der Natur ausser uns, insofern diese Zustände unserer Sinnesnerven hervorrufen. Die Empfindung ist allen Sinnen gemein, aber der modus der Empfindung ist in den einzelnen verschieden, nämlich Lichtempfindung, Tonempfindung, Geschmack, Geruch, Gefühl. Unter Gefühl versteht man hier, wie in der Folge immer die eigenthümliche Empfindungsart der Gefühlsnerven wie des N. trigeminus, vagus, glossopharyngeus und der Rückenmarksnerven, d. h. die Empfindung des Kitzels, der Wollust, des Schmerzes, der Wärme, Kälte, die Tastgefühle. Die Bezeichnung Empfindung beschränken wir für die Folge immer auf die allen Sinnesnerven gleiche Leitung auf das Sensorium. Das was durch die Sinne zum Bewustsein kommt, sind zunächst nur Eigenschaften und Zustände unserer Nerven, aber die Vorstellung und das Urtheil sind bereit, die durch äussere Ursachen hervorgebrachten Vorgänge in unseren Nerven als Eigenschaften und Veränderungen der Körper ausser uns selbst auszulegen. Bei den Sinnen, bei welchen die Affectionen aus inneren Ursachen seltener sind, wie beim Gesichtssinn und Gehörsinn, ist diese Verwechselung uns so geläufig geworden, dass wir sie erst bemerken, wenn wir darüber nachdenken. Bei dem Gefühlssinn hingegen, der eben so oft aus inneren Ursachen als aus äusseren angeregt, die den Gefühlsnerven eigenthümlichen Empfindungen zum Bewustsein bringt, wird es uns leicht einzusehen, dass das Gefühlte, der Schmerz, die Wollust, ein Zustand unserer Nerven ist und nicht eine Eigenschaft der Dinge, welche sie in unseren Nerven hervorrufen. Diess führt uns zu einigen allgemeinen Grundsätzen, welche der Physiologie der einzelnen Sinne vorausgeschickt werden müssen.

I. Zuerst wird nun diess festzuhalten sein, *dass wir durch äussere Ursachen keine Arten des Empfindens haben können, die wir nicht auch ohne äussere Ursachen durch Empfindung der Zustände unserer Nerven haben.*

In Hinsicht des Gefühlssinnes ist diess sogleich offenbar, das Empfindbare der Gefühlsnerven ist das Kalte und Warme, der Schmerz und die Wollust und unzählige Modificationen von Empfindungen, die weder schmerzhaft noch wollüstig sind, aber dasselbe Gefühlselement wie diese Empfindungen, nur nicht als Extreme enthalten. Alle diese Empfindungen sind uns aus inneren Ursachen, überall wo Gefühlsnerven sind, geläufig; sie können auch von aussen erzeugt werden, aber die äusseren Ursachen sind nicht vermögend, ein Element mehr in die Empfindungen zu bringen, die den Nerven an und für sich aus innerer Reizung zukommen. Das Empfindbare der Gefühlsnerven sind also ihre eigenen Zustände, Qualitäten, durch innere oder äussere Reize zur Erscheinung gebracht. Das Empfindbare des Geruchssinnes kann aber auch ohne riechbare äussere Stoffe zum Bewustsein kommen, wenn der Geruchsnerve die bestimmte Disposition dazu hat. Dergleichen Gerüche aus inneren Ursachen sind nicht häufig, bei Menschen von reizbaren Nerven hat man sie öfter beobachtet, und mit dem Geschmackssinn mag es auch wohl so sein, obgleich hier die Unterscheidung schwer ist, da man nicht wissen kann, ob der Geschmack nicht von einer eigenthümlichen Veränderung des Speichels oder Mundschleims herrührt; jedenfalls entsteht der eckelhafte Geschmack, der Eckel welcher als Empfindung unter die Geschmacksempfindungen gehört, sehr oft aus blosser Nervenstimmung. Das Empfindbare des Gesichtssinnes Farbe, Licht, Dunkel, kommt auch ohne äussere Ursachen zur Empfindung. Im Zustande der grössten Reizlosigkeit empfindet der Gesichtsnerve nichts als das Dunkel. Bei geschlossenen Augen äussert sich der Zustand der gereizten Empfindung als Helligkeit, Blitzsehen, welches eine blosse Empfindung und kein wirkliches materielles Licht ist und daher auch kein Object beleuchten kann. Es ist Jedermann bekannt, wie leicht man bei geschlossenen Augen die schönsten Farben sieht, besonders des Morgens, wenn die Erregbarkeit des Nerven noch gross ist. Bei Kindern sind diese Erscheinungen häufiger nach dem Erwachen. Die äussere Natur vermag uns daher hier keine Eindrücke zu schaffen, die nicht schon aus innern Ursachen in den Nerven möglich wären, und man sieht, wie ein wegen Verdunkelung der durchsichtigen Medien von Jugend auf Blinder, die innere volle Anschauung des Lichtes und der Farben haben muss, wenn die Nervenhaut und der Sehnerve des Gesichtsorganes nur unversehrt sind. Die Vorstellungen die man sich hier und da von den wunderbar neuen Empfindungen, die ein von Geburt an Blinder durch die Operation erhält, macht, sind übertrieben und unrichtig. Das Element der Gesichtsempfindung, das Empfindbare dieses Sinnes, Licht, Farbe, Dunkel muss diesen Menschen eben so gut wie den andern bekannt sein. Denkt man sich ferner, dass ein Mensch in der einförmigsten Natur geboren werde, die aller Farbenpracht

entblösst wäre und ihm niemals die Eindrücke der Farben von aussen zuführte, so würde sein Sinn nicht ärmer als der jedes Menschen seyn; denn das Licht und die Farben sind ihm eingeboren und bedürfen nur des Reizes, um zur Anschauung zu kommen.

Auch die Gehörempfindungen haben wir von innen so gut als von aussen; denn so oft der Gehörnerve sich in einem gereizten Zustande befindet, tritt das Empfindbare des Gehörnerven, als Klingen, Brausen, Schallen ein. Die Krankheiten dieses Nerven äussern sich durch solche Empfindungen und selbst bei leichteren vorübergehenden Affectionen des Nervensystems zeigt dieser Sinn seinen Antheil an der Verstimmung oft durch Sausen, Klingen, Läuten in den Ohren an.

Aus allem diesen geht deutlich genug hervor, was bewiesen werden sollte, dass durch äussere Einflüsse kein modus der Empfindungen in uns entsteht, der nicht auch ohne äussere Ursachen, aus innern in dem entsprechenden Sinne auftreten kann.

II. Dieselbe innere Ursache ruft in verschiedenen Sinnen verschiedene Empfindungen nach der Natur jedes Sinnes, nämlich das Empfindbare dieses Sinnes hervor.

Eine gleiche innere Ursache, die auf alle Sinnesnerven in derselben Art einwirkt, ist die Anhäufung des Blutes in den Capillargefässen der Sinnesnerven bei der Congestion und Entzündung. Diese gleiche Ursache erregt in der Nervenhaut des Auges die Empfindung der Helligkeit bei geschlossenen Augen und der Blitze, die Empfindung des Sausens und Klingens in dem Gehörnerven, die Empfindung des Schmerzes in den Gefühlsnerven. Ebenso bewirkt auch ein ins Blut gebrachtes Narcoticum in jedem Sinnesnerven die ihm angemessenen Störungen, Flimmern vor den Augen im Sehnerven, Ohrensausen im Gehörnerven, Formicatio in den Gefühlsnerven.

III. Dieselbe äussere Ursache erregt in den verschiedenen Sinnen verschiedene Empfindungen, nach der Natur jedes Sinnes, nämlich das Empfindbare des bestimmten Sinnesnerven.

Der mechanische Einfluss des Schlags, Stosses, Drucks, erregt z. B. im Auge die Empfindung des Lichtes und der Farben, Durch Drücken des Auges ruft man bekanntlich bei geschlossenen Augen die Empfindung eines feurigen Kreises hervor, durch leiseren Druck bewirkt man Empfindung von Farben und kann eine Farbe in die andere umwandeln, Phänomene, womit sich die Jugend oft nach dem Erwachen, wenn es noch dunkel ist, beschäftigt. Auch dieses Licht ist nicht objectiv, sondern blosse gesteigerte Empfindung. Drückt man sich im Dunkeln auch noch so stark ins Auge, so dass die Empfindung eines blitzartigen Scheins entsteht, so kann dieser Schein, weil er blosse Empfindung ist, keine äusseren Gegenstände beleuchten, wie Jeder an sich selbst erfahren kann. Ich habe diese Versuche sehr oft angestellt, nie ist es mir dadurch gelungen, im Dunkeln die nächsten Gegenstände nur zu erkennen oder besser zu erkennen. Man vergleiche die Bemerkungen über den forensischen Fall, wo Jemand durch einen Schlag auf das Auge im Dunkeln einen Räuber erkannt haben

wollte. Muell. *Archiv.* 1834. 140. Eben so wenig sieht ein Anderer, wenn ich mir durch Druck an meinem Auge die Empfindung eines starken Blitzes errege, in meinem Auge die geringste Spur von objectivem Lichte, weil jenes Licht eben bloss eine gesteigerte Empfindung ist.

Das sogenannte Leuchten der Augen ist schon oben in den *Prolegomena* besprochen worden. An und für sich hat es a priori nichts gegen sich, dass die Nerven der Thiere leuchten sollten, und da man am Auge die einzige Gelegenheit hat, einen Nerven, nämlich die Retina ohne Verletzung durch die durchsichtigen Medien zu betrachten, so müsste man, falls in den Nerven eine Entwickelung von Lichtmaterie stattfände, das Phänomen hier am besten beobachten können. Würde es sich beobachten lassen, so würde diese Erscheinung noch immer ausser allem Zusammenhange mit dem Lichtsehen aus inneren Ursachen stehen. Aber die Erfahrung bestätigt nicht eine solche objective Lichtentwickelung in den Nerven und in der Nervenhaut des Auges. Die Erfahrungen, welche das Gegentheil beweisen, sind a. a. O. angeführt.

Der mechanische Einfluss erregt aber auch die eigenthümlichen Empfindungen des Gehörnerven; es ist wenigstens zum Sprichwort geworden, Einem Eins geben, dass ihm die Ohren klingen; so sagt man auch, Einem Eins geben, dass ihm die Augen davon funkeln, Einem Eins geben, dass er es fühlt, so dass derselbe Schlag in dem Gehörnerven, Gesichtsnerven, Gefühlsnerven die verschiedenen Empfindungen dieser Sinne hervorruft. Dass man Einem einen Schlag versetzen könnte, dass er es riecht und schmeckt, ist dagegen weder sprichwörtlich, noch thatsächlich; doch entsteht durch mechanische Reizung des Gaumensegels, des Kehldeckels, der Zungenwurzel, der eckelhafte Geschmack. Die Wirkung der Körper beim Schall auf das Gehörorgan, ist eine ganz mechanische. Ein plötzlicher mechanischer Impuls der Luft auf das Gehörorgan erregt die Empfindung des Knalles, wie beim Gesichtsorgan des Lichtes. Ist der mechanische Impuls heftig, so ist es ein Knall, ist er schwach, so ist es ein Geräusch; war die Ursache anhaltend, so wird auch das Geräusch, der Schall anhaltend sein. Unter bestimmten Bedingungen wird aus dem Schalle und dem Geräusche ein bestimmter Ton. Zu einem Ton von vergleichbarem Werthe ist eine schnelle Wiederholung des gleichen Impulses in sehr kurzer Zeit nothwendig. Dasselbe Geräusch, welches anhaltend und ohne regelmässige Unterbrechungen Geräusch bleibt, wird Ton, wenn es regelmässig in kurzer Zeit sehr oft unterbrochen wird. Die Reibung der Zähne eines Rades an einem Holzsplitter an der von Savart erfundenen Maschine bringt an und für sich als mechanischer auf das Gehörorgan fortgepflanzter Impuls nur ein Geräusch hervor; wird das Rad schnell umgedreht und folgen sich die Geräusche schnell auf einander, so werden sie immer weniger von einander unterschieden und zuletzt sind sie ein bestimmter Ton geworden, dessen Höhe mit der Schnelligkeit des Umlaufs des Rades oder der Stösse zunimmt. Die Schwingungen eines Körpers, welche an und für sich ohne Folge

auf einander bloss oder kaum ein Geräusch bilden würden, werden durch Folge auf einander zum Ton; der Impuls ist auch ein mechanischer. Angenommen, dass die Lichtmaterie durch mechanische Oscillationen auf die Körper wirkt (Undulationstheorie), so haben wir hier wieder ein Beispiel, dass Schwingungen auf verschiedene Sinne verschieden wirken. Sie bewirken im Auge die Lichtempfindung, in andern Sinnen nicht, in den Gefühlsnerven die Empfindung der Wärme.

Der electrische Reiz kann als zweites Beispiel dienen, dass derselbe Reiz in den verschiedenen Sinnesnerven verschiedene Empfindungen hervorruft. Schon ein einfaches Plattenpaar von heterogenen Metallen, mit dem Auge kettenartig verbunden erregt, im Dunkeln die Empfindung eines hellen blitzähnlichen Scheins; selbst wenn das Auge ausser dem Strom liegt, wenn es nur nicht zu weit davon entfernt ist, entsteht die Empfindung durch Ableitung eines Theils des Stroms auf das Auge. So z. B. wenn die eine Platte an das Innere eines Augenliedes, die andere an das Innere des Mundes angelegt wird. Stärkere electrische Reize bewirken viel heftigere Lichtempfindungen. Im Gehörorgan, erregt der electrische Reiz die Gehörempfindung. Volta empfand, als sich seine Ohren in der Kette einer Säule von 40 Plattenpaaren befanden, nach der Schliessung ein Zischen und stossweises Geräusch, welches die ganze Zeit der Schliessung fortdauerte. *Philos. transact.* 1800 *p.* 427. Ritter empfand bei Schliessung der Kette einen Ton wie G der eingestrichenen Octave, oder $\bar{g}$.

Die Reibungselectricität der Maschine erregt in den Geruchsnerven einen phosphorigen Geruch, die Armirung der Zunge mit heterogenen Metallen erregt einen sauren oder salzigen Geschmack je nach der Lage der Platten, wovon die eine über, die andere unter der Zunge applicirt wird. Die Erklärung dieser Erscheinung aus der blossen Zersetzung der Speichelsalze dürfte schon nach dem bereits von andern Sinnen angeführten nicht hinreichen.

Die Wirkungen der Electricität auf die Gefühlsnerven sind hinwieder weder Lichtempfindung, noch Gehörempfindung, noch Geruchs- noch Geschmacksempfindung, sondern die diesen Nerven eigenen Empfindungen des Stechens, Schlagens u. s. w.

Chemische Einflüsse wirken wahrscheinlich auch verschieden auf die verschiedenen Sinnesnerven. Natürlich hat man darüber nur wenig Erfahrungen; bekannt ist, dass chemische Einflüsse in den Gefühlsnerven der Haut Gefühlseindrücke, wie Brennen, Schmerz, Wärmeempfindung, in dem Geschmacksorgane Geschmacksempfindungen und wenn sie flüchtig, in den Geruchsnerven Geruchsempfindung erregen. Auf die höheren Sinnesnerven können wir auf mehr unschädliche Weise nur durch ins Blut aufgenommene Stoffe chemisch wirken. Auf diese Weise wirken sie auch in jedem Sinnesnerven, den Eigenschaften desselben gemäss. Dahin gehören die Wirkungen der Narcotica welche bekanntlich subjective Gesichts- und Gehörphänomene erzeugen.

IV. Die eigenthümlichen Empfindungen jedes Sinnesnerven können durch mehrere innere und äussere Einflüsse zugleich hervorgerufen werden.

Diess ergiebt sich bereits aus den vorher angeführten Thatsachen, denn die Lichtempfindung im Auge wird erregt:

1. durch Schwingungen oder Ausflüsse, die man von ihrer Wirkung auf das Auge Licht nennt, obgleich sie noch viele andere, auch chemische Wirkungen hervorbringen, ja selbst die organischen Wirkungen der Pflanzen unterhalten.

2. durch mechanische Einflüsse, wie Stoss, Schlag,

3. durch die Electricität.

4. durch chemische Einflüsse wie die ins Blut aufgenommenen Narcotica, Digitalis u. a. welche subjective Sinneserscheinungen, Flimmern vor den Augen u. dgl. hervorbringen.

5. durch den Reiz des Blutes in der Congestion.

Die Gehörempfindung im Gehörnerven wird erregt:

1. durch mechanische Einflüsse, Schwingungen der Körper, welche durch Medien, die der Fortpflanzung derselben fähig sind, dem Gehörorgane mitgetheilt werden.

2. durch die Electricität.

3. durch chemische Einflüsse, die ins Blut aufgenommen werden, Narcotica (alterantia nervina)

4. durch den Reiz des Blutes.

Die Geruchsempfindung der Geruchsnerven wird erregt:

1. durch chemische Einflüsse flüchtiger Art, Riechstoffe.

2. durch die Electricität.

Die Geschmacksempfindungen werden erregt:

1. durch chemische Einflüsse, die entweder von aussen, oder vom Blute aus auf die Geschmacksnerven wirken. Hunde sollen nach Magendie auch die ihnen ins Blut injicirte Milch schmecken und mit der Zunge zu lecken anfangen.

2. durch die Elektricität.

3. durch mechanische Einflüsse. Hieher gehört der eckelhafte Geschmack von Reizung des Gaumensegels, des Kehldeckels und der Zungenwurzel.

Die Gefühlsempfindungen der Gefühlsnerven werden erregt:

1. durch mechanische Einflüsse, Schallschwingungen, Berührung jeder Art.

2. durch chemische Einflüsse.

3. durch die Wärme.

4. durch die Electricität.

5. durch den Reiz des Blutes.

V. Die Sinnesempfindung ist nicht die Leitung einer Qualität oder eines Zustandes der äusseren Körper zum Bewustsein, sondern die Leitung einer Qualität, eines Zustandes eines Sinnesnerven zum Bewustsein, veranlasst durch eine äussere Ursache, und diese Qualitäten sind in den verschiedenen Sinnesnerven verschieden, die Sinnesenergieen.

Die Empfänglichkeit der verschiedenen Sinnesnerven für bestimmte Einflüsse, wie des Gesichtsnerven für das Licht, des Gehörnerven für die Schwingungen u. s. w. erklärte man sich sonst aus einer specifischen Reizbarkeit dieser Nerven. Diese reicht aber offenbar zur Erklärung der Facta nicht hin. Allerdings besitzen die Sinnesnerven eine specifische Reizbarkeit für gewisse

Einflüsse; denn manche Reize, die auf ein Sinnesorgan heftig einwirken, wirken auf ein anderes wenig oder gar nicht, z. B. das Licht, oder so unendlich schnelle Schwingungen, wie die des Lichtes nur auf die Sehnerven und die Gefühlsnerven, langsamere Schwingungen nur auf den Gehörnerven und die Gefühlsnerven, aber nicht auf den Gesichtsnerven, die Riechstoffe nur auf den Geruchsnerven u. s. w. Die äusseren Reize müssen also dem Sinnesorgan homogen seyn; so ist das Licht der homogene Reiz des Sehnerven, Schwingungen von der geringen Geschwindigkeit, welche auf den Gehörnerven wirken, sind jenem heterogen oder gleichgültig; denn man erhält bei der Berührung des Auges mit einer schwingenden Stimmgabel nur eine Gefühlsempfindung der Conjunctiva, aber keine Lichtempfindung. Indessen haben wir gesehen, dass bestimmte gleiche Reize in jedem Sinnesorgane verschiedene Empfindungen hervorrufen, wie die Electricität; diese ist allen Sinnesnerven homogen, und doch sind die Empfindungen in allen verschieden. Und ebenso ist es mit mehrern andern Reizen, wie den chemischen und mechanischen. Die specifische Reizbarkeit der Sinnesnerven reicht also zur Erklärung der Facta nicht hin, und wir sind genöthigt, jedem Sinnesnerven bestimmte Energieen im Sinne des Aristoteles zuzuschreiben, welche seine vitalen Qualitäten sind, wie die Zusammenziehung die vitale Eigenschaft der Muskel ist. Diese Thatsache wurde in der neuern Zeit durch die Bearbeitung der sogenannten subjectiven Sinneserscheinungen durch Elliot, Darwin, Ritter, Goethe, Purkinje, Hjort mehr und mehr erkannt. So nennt man nämlich jetzt diejenigen Sinneserscheinungen, welche nicht durch den gewöhnlichen homogenen Reiz eines Sinnesnerven, sondern andere ihm gewöhnlich fremde hervorgebracht werden. Lange haben diese wichtigen Erscheinungen unter dem Namen der Sinnestäuschungen figurirt und sind unter einem falschen Gesichtspunkte misachtet worden, dagegen sie als eigentliche Sinneswahrheiten und Grundphänomene bei der Zergliederung der Sinne studirt werden müssen.

Die Empfindung des Tons ist daher die eigenthümliche Energie des Hörnerven, die des Lichts und der Farben die Energie des Gesichtsnerven u. s. w. Eine nähere Zergliederung dessen, was bei einer Empfindung geschieht, müsste schon auf anderm Wege zu dieser Wahrheit führen. Die Empfindungen der Wärme und Kälte z. B, bringen uns die Existenz des imponderablen Wärmestoffs oder eigenthümlicher Schwingungen in der Nähe unserer Gefühlsnerven in einer Empfindung zur Anschauung. Aber was die Wärme ist, kann durch etwas, was doch zunächst Zustand der Gefühlsnerven ist, nicht aufgeklärt und muss durch das Studium der physikalischen Eigenschaften dieses Agens erkannt werden, wohin die Gesetze seiner Verbreitung, Entwickelung aus dem gebundenen Zustande, seine Fähigkeit sich zu binden, sein Vermögen die Körper auszudehnen u. s. w. gehören. Alles diess erklärt aber das Eigenthümliche der Wärmeempfindung als Zustandes der Nerven nicht. Das reine Factum ohne alle Erklärung ist nur diess, dass die Wärme als Empfindung dann entsteht, wenn der Wärmestoff auf einen Gefühlsnerven wirkt, und dass

Kälte als Empfindung entsteht, wenn dieser Stoff einem Gefühlsnerven entzogen wird.

Es ist ebenso mit dem Tone. Das reine Factum ist diess, dass wenn eine gewisse Zahl von Stössen oder Schwingungen dem Gehörnerven mitgetheilt wird, der Ton als Empfindung entsteht, aber der Ton als Empfindung ist himmelweit von einer Anzahl von Schwingungen verschieden. Dieselbe Zahl der Schwingungen einer Stimmgabel, die dem Gehörnerven jene Empfindung mittheilt, wird von dem Gefühlsnerven als Kitzel empfunden. Es muss also zu den Schwingungen noch etwas ganz Anderes hinzukommen, wenn ein Ton empfunden werden soll, und diess Erforderliche liegt nur im Gehörnerven.

Mit dem Gesicht verhält es sich nicht anders; die verschieden starke Wirkung des imponderabeln Agens, des Lichtes, bedingt eine Ungleichheit der Empfindung an verschiedenen Stellen der Nervenhaut des Auges, geschehe die Einwirkung durch Stösse nach der Undulationstheorie, oder durch Strömung mit unendlicher Geschwindigkeit nach der Emanationstheorie. Erst dadurch dass die Nervenhaut die schwach afficirten Stellen als mässig hell, die heftig afficirten als licht, die ruhenden oder gar nicht afficirten Stellen als dunkel oder schattig empfindet, entsteht ein bestimmtes Lichtbild je nach der Vertheilung der afficirten Stellen auf der Nervenhaut. Auch die Farbe ist dem Sehnerven selbst immanent und entsteht, wenn sie durch das äussere Licht hervorgerufen wird, durch die im Grunde noch unbekannte Eigenthümlichkeit der sogenannten farbigen Strahlen oder der zum Farbeneindruck nöthigen Oscillationen. Die Geschmacksnerven und Geruchsnerven sind unendlich von aussen bestimmbar, aber jeder Geschmack hängt von einem bestimmten Zustande des Nerven ab, der von aussen bedingt wird, und es ist lächerlich zu sagen: die Eigenschaft des Sauren werde durch den Geschmacknerven geleitet; denn auch auf die Gefühlsnerven wirkt die Säure, aber es entsteht kein Geschmack.

Das Wesen dieser Zustände der Nerven, vermöge welcher sie Licht sehen, Ton empfinden, die wesentliche Natur des Tons als Eigenschaft des Hörnerven, des Lichts als Eigenschaft des Sehnerven, des Geschmacks, Geruchs, Gefühls bleibt wie die letzten Ursachen in der Naturlehre ewig unbekannt. Ueber die Empfindung des Blauen lässt sich nicht weiter räsoniren; sie ist eine Thatsache, wie viele andere, die die Grenze unseres Witzes bezeichnen. Die eigenthümlichen Empfindungen der verschiedenen Sinne bei gleicher Ursache aus der verschiedenen Schnelligkeit der Schwingungen des Nervenprincips zum Sensorium erklären wollen, würde auch nicht weiter führen, und wenn eine solche Behauptung statthaft wäre, so müsste sie zunächst zur Erklärung der verschiedenen Empfindungen im Umfange eines bestimmten Sinnes angewandt werden, warum z. B. das Sensorium die Empfindung des Blauen, Rothen, Gelben erhält, warum das Sensorium die Empfindung eines hohen oder tiefen Tons, die Empfindung des Schmerzes oder der Wollust, der Wärme oder Kälte, die Empfindung des Bittern, Süssen, Sauren erhält. In diesem Sinne allein ist die

Erklärung beachtenswerth; die Ursachen verschieden hoher Töne sind wenigstens schon von aussen her verschieden schnelle Schwingungen der tönenden Körper, und eine Berührung der Gefühlsnerven der Haut, die einmal bewirkt, eine einfache Tastempfindung hervorruft, erregt schnell als Schwingung eines tönenden Körpers wiederholt, die Empfindung des Kitzels, so dass vielleicht das specifische der Wollustempfindung auch wenn sie unabhängig von aussen durch innere Ursachen entsteht, durch die Schnelligkeit der Schwingungen des Nervenprincips in den Gefühlsnerver bedingt wird.

Eine dunkle Kenntniss der Gesichtsempfindungen aus innern Ursachen mag wohl die Ursache gewesen seyn, dass auch die alten Naturphilosophen eine Ahnung von dem wesentlichen Antheil des Auges an dem Empfinden von Licht und Farbe gehabt haben. Diese ist in der Lehre vom Sehen im Timaeus des Platon nicht zu verkennen. Es heisst dort: „Unter allen Organen bildeten die Götter die strahlenden Augen zuerst, um des Grundes Willen. Ein Organ des Feuers, das nicht brennt, sondern ein mildes Licht giebt, jedem Tage angemessen, hatten sie bei dieser Bildung zur Absicht. Wenn des Auges Licht um den Ausfluss des Gesichtes ist und Gleiches zu Gleichem ausströmend sich vereint, so entwirft sich in der Richtung der Augen ein Körper, wo immer das aus dem Innern ausströmende Licht mit dem äussern zusammentrifft. Wenn aber das verwandte Feuer des Tages in die Nacht vergeht, so ist auch das innere Licht verhalten; denn in das Ungleichartige ausströmend verändert es sich und erlischt, indem es durch keine Verwandtschaft der Luft sich anfügen und mit ihr Eins werden kann, da sie selbst kein Feuer hat.“

Richtigere Ansichten und in mehr wissenschaftlicher Form vorgetragen finden sich in Aristoteles Schrift über den Traum, wovon ich in meiner Schrift über die phantastischen Gesichtserscheinungen eine Uebersetzung gegeben habe. Die Erklärung der Phantasmen als innerer Sinneswirkungen ist ganz dem heutigen Standpuncte der Wissenschaft angemessen. Er hat sogar schon die auch von Spinoza gemachte Beobachtung dass sich die im Schlafe erschienenen Bilder beim Erwachen in den Sinnesorganen ertappen lassen (3. *Cap.*), und die subjectiven Farbenumwandlungen des Blendungsbildes der Sonne im Auge sind ihm wohlbekannt (2. *Cap.*).

Bei dem ausgebildeten Zustande der verschiedenen Zweige der Naturwissenschaften, welche selbstständig und zum Theil unabhängig von einander bearbeitet werden, bleibt es immer eine schöne Aufgabe der Philosophie, die Erklärungen der Grundphänomene zu prüfen, besonders da, wo die Gebiete in einander greifen, wie bei den Wirkungen des Lichtes auf organische Wesen. Aber diese Arbeit ist ungemein schwierig, weil sie ohne näheren Antheil an der Zergliederung der Thatsachen nicht gut zu lösen ist. In neueren Zeiten hat die Philosophie auf diesem der Phy-

sik und Physiologie zugleich angehörigen Felde nur wenig gelichtet. Die Manifestation der Gegenstände an einander kann die Natur des Lichtes nicht ausdrücken und dass es für uns manifestirend ist, hängt nur von der Gegenwart eines belebten Sehorganes ab. In dieser Weise sind hinwieder viele andere Agentien manifestirend. Und wäre ein feines organisches Reagens für die Electricität wie für das Licht da, so würde die Electricität ebenso offenbarend für die Existenz der körperlichen Welt seyn, als das Licht ist.

Aus dem Vorherigen ergiebt sich deutlich genug, dass die Sinnesnerven keine blossen Leiter der Eigenschaften der Körper zu unserm Sensorium sind, und dass wir von den Gegenständen ausser uns nur durch die Eigenschaften unserer Nerven und ihre Fähigkeit von äusseren Gegenständen stärker oder geringer verändert zu werden, unterrichtet werden. Selbst die Tastempfindung unserer Hand bringt nicht zunächst den Zustand der Oberflächen des betasteten Körpes, sondern die durch das Tasten erregten Stellen unsers Körpers zur Anschauung. Vorstellung und Urtheil machen aus der einfachen Empfindung etwas ganz Anderes. Auf der verschiedenen Art, wie Körper die Zustände unserer Nerven erregen, beruht die Sicherheit der sinnlichen Unterscheidung. Hier lässt sich aber auch einsehen, warum die sinnliche Erkenntniss uns nie die Natur und das Wesen der sinnlichen Welt aufschliessen kann. Wir empfinden beständig uns selbst in dem Umgange mit der sinnlichen Aussenwelt und machen uns damit Vorstellungen von der Beschaffenheit der äusseren Gegenstände, welche eine relative Richtigkeit haben können, aber niemals die Natur der Körper selbst zu jener unmittelbaren Anschauung bringen, zu welcher die Zustände unserer Körpertheile im Sensorium gelangen.

VI. Ein Sinnesnerve scheint nur einer bestimmten Art der Empfindung und nicht derjenigen der übrigen Sinnesorgane fähig zu seyn, und kann daher auch keine Vertretung eines Sinnesnerven durch einen andern davon verschiedenen stattfinden.

In jedem Sinnesorgane kann die Empfindung bis zum Angenehmen und Unangenehmen gesteigert werden, ohne dass die Natur der Empfindung selbst verändert wird und in die Empfindung eines andern Sinnesorgans übergeht. Das Sehorgan empfindet das Unangenehme als Blendung, das Angenehme als Farbenharmonie; das Gehörorgan hat das Angenehme und Unangenehme in den Harmonien und Disharmonien; das Geschmacksorgan und Geruchsorgan haben ihre angenehmen und unangenehmen Gerüche und Geschmäcke, das Gefühlsorgan die Wollust und den Schmerz. Es scheint daher, dass auch in der heftigen Leidenschaft des Sinnesorganes die Empfindung ihre specifische Energie behält. Dass die Empfindung des Lichtes, des Tons, des Geschmacks, Geruchs nur in den entsprechenden Nerven empfunden werde, ist bekannt, weniger deutlich ist diess vom Gefühl, und es fragt sich namentlich, ob die Empfindung des Schmerzes nicht in den höheren Sinnesnerven möglich sei, und ob z. B. eine starke Verletzung des Sehnerven nur als heftige Lichtempfindung, nicht als Schmerz em-

pfunden werden könne. Die Untersuchung dieser Frage hat ihre grossen Schwierigkeiten. In den Sinnesnerven verbreiten sich ausser den eigentlichen specifischen Sinnesnerven auch noch Gefühlsnerven; die Nase hat ausser den Geruchsnerven auch noch die Gefühlsnerven vom zweiten Ast des Trigeminus; in der Zunge besteht das Gefühl neben dem Geschmack, und das eine kann verloren sein, während das andere fortbesteht, und ebenso ist es mit dem Auge und Gehörorgane. Zur Untersuchung jener Frage ist es nöthig, Versuche an dem isolirten Sinnesnerven selbst anzustellen. Was man jetzt in dieser Weise erfahren, spricht dafür, dass die Sinnesnerven keiner andern Art der Empfindung als der ihnen eigenthümlichen und nicht der Gefühlsempfindung fähig sind. Die entblössten Geruchsnerven des Hundes zeigen sich beim Anstechen ganz gefühllos, wie MAGENDIE beobachtete, auch die Markhaut des Auges und der Sehnerve waren in MAGENDIE's Versuchen (*Journ. de physiol. IV.* 180.) keines Schmerzgefühls bei mechanischen Verletzungen fähig. Dagegen hat man schon beobachtet, dass die Durchschneidung des Sehnerven bei Exstirpation des Auges, für den Kranken mit dem Sehen von grossen Lichtmassen verbunden war, wie mir mein Freund TOURTUAL aus eigener Erfahrung bei Anstellung dieser Operation mitgetheilt hat. Schon die lichten Kreise, die man bei plötzlicher Verwendung der Augen nach einer Seite, wegen Zerrung der Sehnerven sieht, gehören hieher. Oft ist in den Fällen wo die Exstirpation des Auges indicirt ist, der Sehnerve selbst so degenerirt, dass er keiner Empfindungen mehr fähig ist, daher darf die Erscheinung nicht in allen Fällen der Exstirpation des Auges erwartet werden; sie fehlte auch in 2 hiesigen Fällen von Exstirpation des Auges. Uebrigens ist es mir nicht bekannt, dass die Durchschneidung des Sehnerven bei der Exstirpation des Auges schmerzhafter, als der übrige Theil der Operation wäre, während doch die Durchschneidung eines so starken Gefühlsnerven, wie der Sehnerve, sonst mit den furchtbarsten Schmerzen verbunden ist, und bei den Thieren von dem heftigsten plötzlichen Geschrei begleitet wird.

Allerdings kann ein Sinnesnerve, gereizt durch Reflexion unter Mitwirkung des Gehirns, auch wieder andere Empfindungen hervorrufen, wie das Hören gewisser Töne z. B. vom Ritzen in Glas, die Empfindung von Rieseln in den Gefühlsnerven hervorbringt. Und so mag wohl auch eine blendende Lichtempfindung im Sehnerven einen reflectirten unangenehmen Eindruck auf die Gefühlsnerven der Augenhöhle und des Auges hervorrufen. So können wenigstens die unangenehmen Empfindungen im Augapfel nach dem Sehen in sehr helles Licht erklärt werden.

In Hinsicht des Riechens hat sich MAGENDIE offenbar getäuscht, wenn er nach Zerstörung der Geruchsnerven den Nasalästen des Nervus trigeminus Geruch zuschrieb, da die angewandten Reize, z. B. Essigsäure, flüssiges Ammonium, Lavendelöhl, Dippelsöl in die Nase gebracht, sehr starke Erreger der Gefühlsempfindung der Schleimhaut der Nase sind. ESCHRICHT *in* MAGENDIE *Journ. de physiol. T. VI. p.* 339. In allen genau beobachteten Fällen von Fehlen der Geruchsnerven hat auch der wahre Geruch aufgehört. ESCHRICHT *a. a. O.*

Eine Einwirkung der Gesichtsnerven auf die anderen Sinnesnerven in den Grenzen, wie überhaupt ein Nerve auf den andern durch Vermittelung des Gehirns einwirken kann, wird Niemand bestreiten können; welche ausgebreitete Affection bringt nicht eine Neuralgie, welche mannigfaltige Störungen der Sinnesorgane ein nervöser Zustand hervor, der in den Unterleibsorganen seine Quelle hat. Wie gewöhnlich ist hier das schlechte Sehen, das Ohrenbrausen u. a., obgleich allerdings Vieles der Art, was man in den Unterleib verlegt, einen viel tiefern Sitz in der Irritation des Rückenmarks hat.

Von diesem Gesichtspuncte aus muss auch die Einwirkung vom Nervus frontalis auf den Sehnerven und jene nach Verletzungen des Nervus frontalis beobachtete Amaurose betrachtet werden; aber vielleicht dürfte diese in neueren Zeiten meines Wissens selten beobachtete Affection, noch richtiger aus der Erschütterung des Auges und Sehnerven durch die Contusion der Stirn erklärt werden.

Die anatomischen Beobachtungen für das Vertreten eines Sinnesnerven durch einen andern, haben eine sehr unsichere Grundlage. Der Sehnerve des Auges des Maulwurfes sollte der Augenhöhlenzweig des Trigeminus seyn; Koch und Henle haben indess gezeigt, dass der Maulwurf einen ungemein feinen, der Grösse seines Auges entsprechenden Sehnerven besitzt und ebenso mag es beim Proteus anguinus seyn. Die Unabhängigkeit des N. acusticus der Fische vom N. trigeminus haben Treviranus und E. H. Weber gezeigt. Selbst wenn in einer Nervenscheide Fasern verschiedener Function eingeschlossen sind, beweist diess keineswegs etwas für die Leitung verschiedener Empfindungen durch einerlei Leiter. So kann man die Thatsache auslegen, dass es bei den Fischen einen Nervus accessorius nervi acustici giebt, der bald selbsständig vom Gehirn, bald vom Trigeminus, bald vom Vagus abgeht (E. H. Weber *de aure et auditu. Lip.* 1820. *p.* 33. 101.) und dass nach Treviranus (*Zeitschr. f. Physiol. V.*) bei einigen Vögeln der nervus vestibuli ein Ast des facialis seyn soll. Bei den Delphinen sind zwar Rudimente der Geruchsnerven nach Blainville, Mayer Treviranus (*Biologie.* 5. 342) vorhanden und es wäre schon deswegen nicht nöthig andere Nerven für den Geruch dieser Thiere in Anspruch zu nehmen, indess ist es überhaupt unbekannt, ob diese Thiere riechen.

Von wahrer Vertretung eines Sinnesnerven durch einen specifisch davon verschiedenen, ist uns unter den beglaubigten physiologischen Thatsachen keine bekannt. Die Ausbildung des Gefühls in der Weise des Gefühls bei Blinden wird man heut zu Tage nicht Sehen durch die Finger nennen; das Sehen mit den Fingern, mit der Herzgrube, bei sogenannten Magnetischen scheint ein pures Mährchen, wenn es nacherzählt wird, und Betrug, wo es geschehen soll. Die Gefühlsnerven sind keiner andern Empfindung als der Gefühlsempfindung fähig. Daher ist auch kein Hören als durch die Gehörnerven möglich; was die Gefühlsnerven von den Schwingungen der Körper empfinden, sind blosse Gefühle der Bebungen und nichts dem Ton Aehnliches. Die Beispiele

sind zwar heut zu Tage nicht selten, dass man die verschiedene Art, wie die Schwingungen der Körper auf das Gehör und Gefühl wirken, miteinander verwechselt. Ohne das lebendige Ohr giebt es in der Welt keinen Ton, sondern nur Schwingungen, ohne das lebendige Auge in der Welt kein Hell, keine Farbe, kein Dunkel, sondern nur die Oscillationen der imponderabeln Materie des Lichtes und ihren Mangel.

VII. Ob die Ursachen der verschiedenen Energieen der Sinnesnerven in ihnen selbst liegen, oder in Hirn und Rückenmarkstheilen, zu welchen sie hingehen, ist unbekannt, aber es ist gewiss, dass die Centraltheile der Sinnesnerven im Gehirn, unabhängig von den Nervenleitern, der bestimmten Sinnesempfindungen fähig sind.

Die specifische Reizbarkeit der Sinnesnerven für besondere Reize muss wohl in ihnen selbst liegen, so z. B. dass Schwingungen von der Schnelligkeit oder Langsamkeit, wie sie hörbar sind, nur auf den Gehörsinn und Gefühlssinn wirken, dass rein mechanische Einflüsse auf die Geschmacksnerven fast gar nicht zur Erregung des Geschmackes wirken u. dgl.. Aber die eigenthümliche Art der Reaction nach der Erregung eines Sinnesnerven kann auf doppelte Art stattfinden, entweder dass das Sensorium an und für sich gleich verschiedene Qualitäten von den Nerven aus erhält, oder dass an und für sich ähnliche Schwingungen in den Nerven andere Qualitäten in dem Sensorium zur Perception bringen, je nach den Eigenschaften der Organtheile des Sensoriums, mit welchen die verschiedenen Sinnesnerven in Verbindung stehen. Diese Frage halten wir vor der Hand für unauflöslich, sie hängt mit einer andern zusammen, ob es einen qualitativen Unterschied der sensoriellen, motorischen, organischen Nervenfasern giebt, ob sie sich bloss durch die bestimmte Art der Strömung und Oscillation des Nervenprincips in den verschiedenen Leitern unterscheiden, oder ob die Verschiedenheiten ihrer Wirkung bloss durch die Theile entstehen, zu welchen sie hingehen. Was sich vorläufig hierüber besprechen lässt, ist im 3. Buch mitgetheilt worden.

So viel ist aber gewiss, dass gewisse Centraltheile des Gehirns jedenfalls an den eigenthümlichen Energieen der Sinne participiren; denn Druck auf das Gehirn bewirkt auch Lichtempfindung, wie mehrmals schon gesehen wurde. Nach vollständiger Amaurose der Nervenhaut sind noch leuchtende Phantasmen aus innern Ursachen möglich. Siehe die Beispiele in meiner Schrift *über die phantastischen Gesichtserscheinungen. Cobl.* 1826. Alexander v. Humboldt galvanisirte einen Mann, dem das Auge ausgelaufen war, er sah Lichterscheinungen auf der blinden Seite. Die gereizte Muskel und Nervenfaser T. II. 444. Lincke (*de fungo medullari Lips.* 1834.) erzählt einen Fall, wo bei einem Kranken einen Tag nach der Exstirpation eines fungösen bulbus oculi allerlei subjective Lichterscheinungen entstanden, die ihn so quälten, dass er auf den Gedanken kam, als sähe er diess alles mit wirklichen Augen (wie die Gefühle der Amputirten). Indem er das gesunde Auge schloss, sah er verschiedene Bilder vor seiner leeren Augenhöhle umherschweifen, als Lichter, Feuerkreise, viele tanzende Menschen. Dieser Zufall dauerte einige Tage.

So giebt es auch zuweilen Gefühle in den Gliedern, heftige Schmerzen bei Menschen, deren Fähigkeit der Empfindung für äussere Eindrücke vollkommen aufgehoben ist. Siehe die Nervenphysik. Es ist wahrscheinlich, dass hier auch die Centralorgane die Ursache der Empfindungen sind, und da die eigenthümlichen Sinnesenergieen gewissen Theilen des Sensoriums zukommen, so kann die Frage also nur die seyn, ob die Leiter für die äussern Eindrücke, die Nerven an diesen Eigenschaften participiren oder nicht. Diese Frage kann für jetzt nicht beantwortet werden; denn die Thatsachen lassen sich gleich gut auf die eine und andere Art erklären. Dass aus innern Ursachen oft Gefühle entstehen und nach der Peripherie verbreitet werden, kann für den Antheil der Nerven selbst an den bestimmten Sinnesenergieen nicht angeführt werden, da auch die Affectionen der Centraltheile des Nervensystems oft nach aussen hin versetzt werden.

VIII. Die Sinnesnerven empfinden zwar zunächst nur ihre eigenen Zustände, oder das Sensorium empfindet die Zustände der Sinnesnerven; aber dadurch dass die Sinnesnerven als Körper die Eigenschaften anderer Körper theilen, dass sie im Raume ausgedehnt sind, dass ihnen eine Erzitterung mitgetheilt werden kann und dass sie chemisch, durch die Wärme, und die Electricität verändert werden können, zeigen sie bei ihrer Veränderung durch äussere Ursachen, dem Sensorium ausser ihrem Zustande auch Eigenschaften und Veränderungen der Aussenwelt an, in jedem Sinne verschieden nach dessen Qualitäten oder Sinnesenergieen.

Qualitäten welche den Sinnesnerven mehr durch den Conflict mit dem Sinnesorgan als Empfindungen entstehen, sind die Empfindung des Lichts, der Farbe, des Tons, des Bittern, Süssen, des Gestanks, Wohlgeruchs, des Schmerzes, der Wollust, des Kalten, Warmen; Eigenschaften welche ganz von aussen bestimmt werden können, sind die Ausdehnung, die fortschreitende, die zitternde Bewegung, die chemische Veränderung.

Zur Mittheilung der Ausdehnung im Raume an das Sensorium sind nicht alle Sinne gleich gut geschickt. Der Gesichtsnerve, der Gefühlsnerve zeigen die Ausdehnung im Raume an, weil sie einer genauen Empfindung ihrer eigenen Ausbreitung fähig sind. In den Geschmacksnerven ist diese Empfindung am undeutlichsten, aber doch vorhanden; durch sie wird die Ausbreitung eines süssen, bittern eckelhaften Geschmacks auf der Zunge am Gaumen und im Rachen bestimmt. In dem Gefühlssinn und Gesichtssinn hat die Unterscheidung des Räumlichen die grösste Schärfe. Die Nervenhaut des Sehnerven hat einen zu dieser Perception sehr geeigneten Bau; denn die Enden der Nervenfasern in der retina sind nach Treviranus Entdeckung so gestellt, dass sie zuletzt senkrecht in der Dicke der Nervenhaut sich aufrichten und die papillenförmigen dicht nebeneinander stehenden Enden eine pflasterförmig zusammengesetzte Membran bilden. Von der Zahl dieser Enden hängt die Schärfe der Unterscheidung des Räumlichen durch den Gesichtssinn ab, denn jede Faser repräsentirt ein grösseres oder kleineres Feldchen der sichtbaren Welt in einem gemeinsam einfachen Eindruck, welchen diese Faser dem

Sensorium mittheilt. Die Unterscheidung des Räumlichen durch den Gefühlssinn ist zwar viel mehr verbreitet als beim Gesichtssinn, ist aber viel weniger genau, und grössere Theile der Körperoberfläche oder der Haut werden oft nur durch wenige Nervenfasern im Sensorium repräsentirt; daher oft an manchen Stellen zwei von einander entfernte afficirte Punkte der Haut nur als einer empfunden werden, wie E. H. WEBER gezeigt hat. Obgleich der Gesichtssinn, der Gefühlssinn und Geschmackssinn zugleich der Empfindung des Räumlichen fähig sind, so ist die Qualität des räumlich Empfundenen in jedem dieser Sinne nach den Qualitäten der Nerven verschieden, in dem einen Falle ein Bild, dessen Qualität das Licht ist, in dem andern eine Empfindung des Räumlichen, deren Qualität alle Modificationen des Gefühls zwischen Schmerz, Kälte, Wärme, Wollust seyn können, im dritten Falle eine Empfindung des Räumlichen mit Geschmack.

Die äussere Ursache, welche in dem Sinne die Empfindung mit räumlicher Ausdehnung erregt, kann verschieden seyn. Am Sehorgan ist es das äussere Licht, aber auch der Stoss eines Körpers an das Auge, welcher eine Lichtempfindung im Auge hervorruft, kann die Ursache seyn. Wird nämlich nur ein bestimmter Theil der Nervenhaut gedrückt, so entsteht auch nur ein dieser Stelle entsprechendes lichtes Feld, welches eine bestimmte Stelle im Sehfelde einnimmt. Selbst die Electricität kann räumliche Bilder von bestimmter Form im Auge bedingen, wie feurige Linien, deren Lage nach der Lage der Pole verschieden ist, worauf wir später zurückkommen werden. Am Gefühlsorgane erregt das Licht zwar auch, je nach der Ausdehnung der von der Sonne beleuchteten Theile der Haut, die Empfindung der erwärmten Theile in räumlicher Ausdehnung. Aber in der Regel sind die Eindrücke, welche uns von den Körpern ausser uns durch das Gefühlsorgan unterrichten, mechanische Berührung, Reibung, Stoss, Druck oder Mittheilung von Schwingungen der Körper, die wir als Bebung empfinden. Durch das Gefühlsorgan erhalten wir in Folge der mechanischen Eindrücke, die ersten und wichtigsten Aufschlüsse über die Form und Schwere der Körper, wovon das Urtheil für die Erklärung der Anschauungen der übrigen Sinne bald Gebrauch macht.

Die Durchdringung ganzer Gliedmassen, ja der meisten Theile unseres Körpers durch Gefühlsnerven, macht es dem Gefühlssinn möglich, die Raumausdehnung unseres eigenen Körpers in allen Dimensionen zu unterscheiden; denn jeder Punkt, in welchem eine Nervenfaser endet, wird im Sensorium als Raumtheilchen repräsentirt. Auch bei dem Conflict unseres Körpers mit andern kann, wenn der Stoss stark genug ist, die Empfindung bis zu einer gewissen Tiefe unseres Körpers erregt werden und es entsteht die Empfindung der Contusion in allen Dimensionen des Cubus. Gewöhnlich bringen aber die drei Sinne, welche die räumliche Ausdehnung der Körper anzeigen, nur Flächen zur Perception, soweit die Flächen der nervenreichen Theile bei dem Conflict afficirt werden. Der Gefühlssinn hat jedoch auch hier vor dem Gesichtssinn das voraus, dass die tastenden Theile in meh-

reren Richtungen um einen Körper sich herumlegen können, und obgleich die Empfindung hierbei an und für sich die einer Ausdehnung in Flächen, nämlich die der Oberflächen unsers Körpers, welche den Oberflächen des äussern Körpers entsprechen, bleibt, so ergänzt die Vorstellung aus den zum Umfassen nöthigen Bewegungen, die Empfindung der Flächen zur Anschauung eines Körpers mit cubischem Inhalte.

Der Gesichtssinn ist in dieser Hinsicht weniger von dem Gefühlssinn verschieden, als man gewöhnlich annimmt. Es fehlt ihm, um ihm ganz gleich zu seyn, nur, dass das Auge seinen Ort verändern könne, um anderen Flächen eines Körpers entgegenzusehen. Dieser Mangel kann aber durch die Ortsveränderung unseres Körpers ersetzt werden.

Dem Gehörsinn geht die Empfindung des Räumlichen fast ganz ab, weil er eben seine eigene Ausdehnung im Raume nicht empfindet. Die Ursachen dieses Unterschiedes sind unbekannt. Die Nervenhaut des Auges empfindet ihre eigene Ausbreitung und ihren Ort schon ohne alle äussere Affection, als Dunkel vor den Augen. Das Geruchsorgan empfindet wenigstens noch deutlich, an welchem Organ die Gerüche wahrgenommen werden, und von einem durchdringenden Geruch wissen wir, dass die ganze Nase in ihrem Innern eingenommen ist, wir können nicht weniger als eine Nase voll nehmen. Bei dem Gehör findet keinerlei Perception des Ortes, wo gehört wird, statt.

Die Empfindung der Bewegung ist eine doppelte, wie die Bewegung eine doppelte ist, fortschreitende und schwingende. Die Empfindung der fortschreitenden Bewegung findet in drei Sinnen in verschiedener Weise statt, im Gesichtssinn, Gefühlssinn und Geschmackssinn, in denselben Sinnen, in welchen überhaupt Distinction des Raumes möglich ist; das Erstere hängt von dem Letzteren ab und ist blosse Folge desselben. Eine Affection schreitet von einem Theil der Retina auf einen anderen fort, und wir stellen uns die Bewegung des Bildes als Bewegung des Körpers vor, ebenso mit dem Gefühlssinn. Auch der Geschmackssinn unterscheidet die Bewegung des Geschmacks über das Geschmacksorgan.

Die Perception der zitternden oder schwingenden Bewegung ist bei mehreren Sinnen möglich. Am offenbarsten ist diese Wirkung auf den Gehörsinn und Gefühlssinn, aber selbst die Nervenhaut des Auges und der Sehnerve scheinen der Unterscheidung dieser Eindrücke nicht fremd zu seyn. Was zunächst den Gehörsinn betrifft, so werden die dem Gehörnerven durch den schallleitenden Apparat des Gehörorganes, zuletzt durch das Labyrinthwasser mitgetheilten Erzitterungen, wenn sie schnell sind, bloss als Ton gehört, dessen Höhe mit der Schnelligkeit der Schwingungen zunimmt; wenn sie sehr langsam sind, unterscheidet der Gehörnerve nicht bloss den gemeinsamen Ausdruck derselben als einen bestimmten Ton, sondern leicht etwas von den einzelnen Schwingungen als Geräusch.

Die Schwingungen eines Körpers, die im Gehörorgane den Ton bedingen, werden von den Gefühlsnerven der Haut als Bebun-

gen empfunden öfter mit dem Gesammteindruck des Kitzels, wenn das Annähern des schwingenden Körpers, z. B. der Stimmgabel an empfindungsreiche Theile geschieht. Diese Erscheinungen liefern eine vollkommene Parallele zu denen am Gehörorgan. So wie das Gehör die Stösse eines Körpers einzeln als Geräusche, ihre schnelle Folge als Ton empfindet, ebenso empfindet der Gefühlsnerve die einzelnen Bebungen und zugleich, bei hinreichender Schnelligkeit der Schwingungen, die dem Gefühlsorgan eigene Empfindung des Kitzels.

Dass übrigens nicht die wellenförmige Bewegung der Schwingung zur Affection dss Gehörorgans nöthig ist, dass vielmehr eine schnelle Folge von mechanischen Stössen dasselbe leistet, was die Schwingungen thun, beweisen eben die vorher angeführten Versuche mit dem Savartschen Rad und der Sirene von Cagniard la Tour. Bei dem letztern Instrumente wird der Strom der Luft oder einer Flüssigkeit aus einer Oeffnung, während dem raschen Umlaufe eines Rades, durch jeden Zahn desselben augenblicklich aufgehalten. Die dadurch hervorgebrachten Unterbrechungen und Stösse, welche auf das Gehörorgan fortgepflanzt werden, sind die Ursache der Töne, deren Höhe mit der Zahl der Unterbrechungen in bestimmter Zeit zunimmt. Auch in dieser Beziehung bildet die Wirkung der Stösse eines Körpers auf das Gefühlsorgan eine Parallele zu den Erscheinungen am Gehörorgan. Denn bei der Berührung einer schwingenden Stimmengabel erhält der Gefühlsnerve auch eine schnelle Folge von Stössen, wovon jeder einzelne für sich nicht im Stande gewesen wäre, die Empfindung des Kitzels hervorzubringen.

Die Unterscheidung der Zeit in der Folge der Eindrücke, ist bei allen Sinnen möglich, nur bei dem Gehörnerven scharf, aber hier ganz ausserordentlich. Das von Savart erfundene Instrument, durch welches die Töne durch Reibung der Zähne eines umlaufenden Rades an einem Körper hervorgebracht werden, hat die Mittel gegeben, die grösste und die geringste noch wahrnehmbare Tonhöhe genauer, als es bisher möglich war, zu bestimmen. Savart hat gezeigt, dass bei gehöriger Stärke noch Töne vernommen werden, die 24000 Stössen oder 48000 einfachen Schwingungen in der Sekunde entsprechen. Zwei auf einander folgende Stösse oder vier auf einander folgende Schwingungen sind schon hinreichend einen vergleichbaren Ton zu bilden; d. h. ein Ton, zu dem 1000 Stösse in der Sekunde gehören, wenn er eine Sekunde anhalten soll, wird schon vernehmbar, wenn nur zwei Stösse davon gehört werden, und von einem andern Tone unterscheidbar, der 2000 oder mehr oder weniger Schläge in der Sekunde haben würde. Woraus hervorgeht, dass das Gehör selbst $\frac{1}{12000}$ einer Sekunde unterscheiden kann, da 24000 Stösse auf den, bei Savart's Instrumente möglichen, höchsten Ton für die Sekunde gehen.

Das Auge kann zwar das Bild eines schwingenden Körpers dem Sensorium mittheilen, und unterscheidet die Schwingungen, wenn sie sehr langsam sind; aber in diesem Falle werden die Schwingungen nicht dem Sehnerven mitgetheilt, so dass dieser sie in derselben Art wiederholt, oder in derselben Art

die Stösse empfängt, wie es der Gehörnerve durch seine Ausbreitung auf den Theilen vermag, welche das Labyrinthwasser enthalten. Der Sehnerve befindet sich nicht unter den Bedingungen, Schwingungen von der Art, wie die eines tönenden Körpers fortzupflanzen oder aufzunehmen, und müsste derselbe, wie der Gehörnerve, auf Membranen sich ausbreiten, welche sackartig mit Wasser gefüllt, und auch von aussen mit Wasser umgeben, mit einem, die Schwingungen leitenden Apparat in Verbindung stehen. Wäre der Sehnerve der Perception der Schwingungen wie der Gehörnerve und Gefühlsnerve fähig, so müsste eine auf die Nervenhaut des Auges durch die Luft verpflanzte Schwingung eines Körpers, wie am Gehörorgan Ton, so hier eine allgemeine Lichtempfindung hervorrufen. Ich habe schon gelegentlich erwähnt, dass die Stösse einer Stimmgabel, wenn sie den Bulbus oculi berühren, nicht hinreichen, die eigenthümliche Empfindung des Sehnerven im Dunkeln anzuregen. Die Ursache des Nichterfolges kann in der Schwäche dieser Stösse oder in ihrer Langsamkeit liegen. Die Schwäche der Stösse, welche die Nervenhaut nicht unmittelbar treffen, mag wohl ein Hauptgrund seyn; denn ein starker Stoss auf denjenigen Theil des Auges, wo die Nervenhaut sich befindet, bewirkt ja die Lichtempfindung. Vielleicht werden auch sehr schwache Stösse, wenn sie mit viel grösserer Schnelligkeit wiederholt die Nervenhaut selbst berühren, Lichtempfindung erregen. Unter diesen Gesichtspunkt kommen die Wirkungen des äussern Lichtes auf das Auge, dessen mechanische Wirkung durch Oscillationen bei dem jetzigen Zustande der Physik an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat (Undulationstheorie). Schon Newton hat die Lehre von den Undulationen des Lichtes auf das Sehen angewandt, und das Sehen daraus erklärt. *Opt. quaest.* 12. Nach der Undulationstheorie werden die Farben aus der Schnelligkeit der Vibrationen und den Lichtwellen erklärt. Die Lichtwellen, welche die Empfindung des Blauen hervorrufen, sind die kürzesten, nach Herschel beträgt ihre Länge 16,7 Milliontheile engl. Zoll, ihre Anzahl in einer Sekunde 727 Billionen, die Lichtwellen des Roths sind die längsten 26,7 Milliontheile Zoll, Anzahl in der Sekunde 458 Billionen. Gehler's *physik. Wörterb. VI. I.* 349. Die Schwingungen der Körper, welche Töne in uns hervorbringen, sind viel langsamer. Die Luftsäule der 32 füssigen Pfeife der Orgel macht 32 Schwingungen in einer Sekunde. Nach Savart werden schon Töne wahrnehmbar, die nur 7—8 Schläge in der Sekunde machen und wenn jede Schwingung einen Eindruck von $\frac{1}{16}$ Sekunde macht.

Von chemischen Wirkungen werden wir durch mehrere Sinne unterrichtet, hauptsächlich durch den Geruch, den Geschmack, das Gefühl, durch jeden dieser Sinne in der ihm eigenthümlichen Energie. Flüchtige, die Nerven chemisch umstimmende Körper wirken zwar auf das Geruchsorgan am stärksten und manche Stoffe wirken auf dasselbe, welche auf das Geschmacksorgan und Gefühlsorgan keinen Eindruck hervorbringen, wie viele Riechstoffe, namentlich z. B. die Ausdünstungen der Metalle, des Bleies, vieler Mineralien u. a. Aber im Allgemeinen lässt sich nicht behaupten

dass nur das Geruchsorgan flüchtige Stoffe percipire. Denn diese vermögen auch auf das Gefühlsorgan und Geschmacksorgan einzuwirken, wenn sie geeignet sind, chemische Umstimmungen in denselben hervorzubringen, und wenn sich die flüchtigen Stoffe erst in den Flüssigkeiten auflösen, welche das Geschmacksorgan bedecken. Auf die Gefühlsnerven einiger Schleimhäute, z. B. der Conjunctiva, der Schleimhaut der Lungen, wirken einige flüchtige Stoffe sehr heftig ein, blosse Gefühlseindrücke erregend, wie die flüchtigen Exhalationen des Meerrettigs, des Senfes, scharfe, erstickende Gase. Auf das von der Oberhaut entblösste Gefühlsorgan der äussern Haut wirken auch viele flüchtige Stoffe stark erregend ein und rufen die Qualitäten der Gefühlsnerven, als Brennen, Schmerzen u. dergl. hervor.

Ob die tropfbarflüssigen Körper auf das Geruchsorgan zum Geruch bestimmend einzuwirken vermögen, ist unbekannt. Es giebt wegen der Verborgenheit des Geruchsorganes wenig Gelegenheit darüber Versuche anzustellen. Obgleich man noch nie etwas der Art an Menschen beobachtet hat, so ist es a priori nicht gerade abzuweisen, da doch auch die flüchtigen Exhalationen sich erst in der Feuchtigkeit der Schleimhautflächen auflösen müssen, ehe sie auf die Geruchsnerven wirken können. Die Fische zeigen uns aber geradezu das Beispiel des Geruchs von aufgelösten tropfbarflüssigen Substanzen und ich sehe keine Schwierigkeit ein, dass ein Thier nicht sollte das Tropfbarflüssige in den Qualitäten der Geruchsnerven empfinden, was es in den Qualitäten der Geschmacksnerven als Geschmack empfindet. Riechen in der Luft und im Wasser verhalten sich zu einander, wie Athmen in der Luft und im Wasser.

Die tropfbarflüssigen Körper bringen sowohl an dem Gefühlsorgan, als Geschmacksorgan chemische Umstimmungen der Nerven hervor, die in jedem auf verschiedene Weise empfunden werden; Senf wirkt ganz anders auf die Haut, als auf die Zunge ein, Säuren, Alcalien, Salze auf beide ganz verschieden. Ihre chemische Einwirkung kann zwar zunächst nur dieselbe seyn, aber die Reaction ist nach den Kräften der Nerven eine ganz verschiedene. Auf der Zunge kommen beiderlei Wirkungen höchst wahrscheinlich in verschiedenen Nerven vor, und können von derselben Substanz erregt werden. Von allen Nerven ist der Geschmacksnerve am meisten den chemischen Einwirkungen ausgesetzt, und er ist der bestimmbarste durch die geringsten Modificationen der chemischen Constitution der Körper. Die Zustände, in welche der Gefühlsnerve durch chemische Einwirkungen versetzt wird, sind bei weitem weniger mannigfaltig in der Art des Gefühls, und diese Nerven sind auch, wenigstens auf der äussern Haut (nicht an den Schleimhäuten) gegen chemische Einwirkungen durch die Epidermis geschützt.

Durch ihren Conflict mit chemischen äusseren Einwirkungen werden die drei niederen Sinne, der Geruch, der Geschmack und das Gefühl wichtig für die Unterscheidung und Wiedererkennung der Materien, obgleich uns weder der Geruch, noch der Geschmack, noch das Gefühl irgend etwas von den inneren Eigen-

schaften der Körper aufschliessen. Nicht einmal bleiben sich die Eindrücke gleich bei den Species chemisch gleich constituirter Körper, und sind nicht constant verschieden bei chemisch verschieden constituirten Körpern.

Die höheren Sinne sind den Einwirkungen chemischer Umstimmungen von aussen nicht ausgesetzt, woraus nicht geschlossen werden darf, dass nur die niederen Sinne dazu fähig sind.

Ein wichtiger Unterschied der Sinne betrifft ihr Verhältniss zur Nähe und Ferne der Körper, von welchen sie uns Aufschluss geben. Genau genommen zeigen alle Sinne nur das unmittelbar in ihnen gegenwärtige an. Das Auge empfindet nichts von dem leuchtenden Körper, es wird von den Enden der zu ihm gesandten Lichtstrahlen getroffen, und die Stellen der Nervenhaut werden empfunden, welche davon afficirt werden. Das Gehörorgan empfindet nichts von dem schwingenden Körper, sondern die Stösse, die ihm selbst von dort aus mitgetheilt sind. Die Vorstellung wirkt aber bald so modificirend und herrschend, in die Acte des Gesichtssinnes ein, dass der Gesichtssinn uns nach aussen zu wirken scheint, dass an die Stelle der flächenhaften Bilder in der Vorstellung die körperlichen Gegenstände selbst treten und das Bild einer Gegend, welches in einem Fensterrahmen Raum hat, uns zur unmittelbaren Anschauung der nahen und fernen Gegenstände selbst wird. Bei den niederen Sinnen ist ein solcher Grad der Veränderung der Empfindung durch die Vorstellung nicht möglich; wir übertragen zwar auch den Inhalt der Empfindung auf die Gegenstände; indess da die Objecte durch unmittelbare Berührung die Empfindungen des Getastes und Geschmackes erregen, so werden wir durch Nachdenken sogleich bewusst, dass wir von der Affection unserer Organe nur mehr oder weniger sicher auf die Eigenschaften der berührenden Körper schliessen.

IX. Es liegt nicht in der Natur der Nerven selbst, den Inhalt ihrer Empfindungen ausser sich gegenwärtig zu setzen, die unsere Empfindungen begleitende, durch Erfahrung bewährte Vorstellung ist die Ursache dieser Versetzung.

Um die erste selbstthätige Wirkung der Sinne unabhängig von der Erziehung der Sinne zu erkennen, müssten wir die volle Erinnerung der ersten Sinneseindrücke unabhängig von allen durch sie erlangten Vorstellungen haben können, diess ist unmöglich. Schon bei den ersten Sinneseindrücken des Kindes entstehen dunkle Vorstellungen. Der einzige Weg, der hier möglich, ist, die Acte der Sinnesthätigkeit und der Vorstellung selbst nach ihrem Inhalte zu untersuchen. Bei der Zergliederung des bei der Sinnesthätigkeit stattfindenden Acts des Geistes stellen sich als Gegensätze heraus das empfindende, selbstbewusste Subject des bestimmbaren Körpers, dessen innere oder von aussen bewirkte Zustände zunächst Objecte für das selbstbewusste Subject werden, und die Aussenwelt, mit welcher der bestimmbare Körper in Conflict kommt. Dem Bewusstseyn, dem Ich ist jede Empfindung, jede Bestimmung von aussen, jede Passion schon ein Aeusseres. Diess Ich setzt sich den heftigsten Em-

pfindungen, den qualvollsten Schmerzen als freies Subject entgegen. Das Glied, was uns schmerzt, kann entfernt werden und das Ich wird nicht geschmälert; das Ich kann der meisten Glieder des Organismus entäussert seyn und es ist noch ebenso ganz wie vorher. Aber bei diesem Standpuncte des Idealismus ist noch kein Unterschied gemacht zwischen jenem Aeussern, was die belebten Glieder unsers Körpers dem Ich der selbstbewussten Seele sind und dem Aeussern der Aussenwelt neben unserm belebten Körper. Am leichtesten lässt sich das Entstehen dieser Unterscheidung bei dem Gefühlssinn erkennen, dem Sinne, der auch am ersten von allen in lebhaften Verkehr mit der Aussenwelt tritt. Stellen wir uns ein menschliches Wesen vor, das ohne jemals eine Gesichtsempfindung gehabt zu haben, wie das Kind im Uterus, bloss Gefühle hat, durch die Bestimmungen seines Körpers von aussen, so wird die erste dunkele Vorstellung keine andere seyn, als des bestimmbaren Ichs im Gegensatz von etwas Bestimmendem. Der Uterus, der das Kind zu einer bestimmten Lage nöthigt, und Empfindungen verursacht, ist jetzt noch zunächst die Veranlassung zum Bewusstwerden dieses Gegensatzes. Wie entsteht aber jetzt die Vorstellung von zweierlei Aeusseren, von dem Aeussern, welches die Glieder des eigenen Körpers des Kindes für sein Ich sind und von dem Aeussern der wahren Aussenwelt. Auf zweierlei Art. Erstens das Kind beherrscht die Bewegungen seiner Glieder und empfindet seine Glieder, die es selbstständig bewegt, als die seinem Ich unterworfenen Werkzeuge desselben. Es beherrscht dagegen den Widerstand, den ihm seine Umgebung darbietet, nicht und dieser Widerstand wird ihm die Vorstellung von einem absolut Aeussern vorführen. Zweitens tritt ein Unterschied der Empfindungen ein, je nachdem zwei Theile seines Körpers einander berühren und also eine doppelte Empfindung in den sich berührenden Theilen erzeugen, oder je nachdem hingegen ein Theil seines Körpers nur den Widerstand von aussen gewahr wird. Im erstern Falle wo z. B. ein Arm den andern berührt, ist der Widerstand der eigne Körper selbst und das widerstandleistende Glied hat ebensowohl Empfindung, als das andere tastende Glied. Seine Glieder sind in diesem Falle äussere Objecte der Empfindung und empfindend zugleich. Im zweiten Fall wird das Widerstandleistende als etwas Aeusseres nicht zum lebenden Körper Gehöriges zur Vorstellung kommen, wo das berührende Glied die Vorstellung keiner dem Ich unterworfenen und zum lebendigen Ganzen gehörigen Theile erweckt. Es wird also in dem Kind die Vorstellung von einem Widerstand entstehen, den sein eigener Körper anderen Theilen seines Körpers darbieten kann und zugleich die Vorstellung von einem Widerstande, den ein absolut Aeusseres den Theilen seines eignen Körpers darbieten kann. Damit ist die Vorstellung von einer Aussenwelt als Ursache von Empfindungen gegeben. Empfindet nun zwar ein thierisches Wesen zunächst nur immer sich selbst, seine afficirten Nerven, seine afficirte Haut, so vergesellschaftet sich von nun an, unzertrennlich mit der Empfindung des Gefühls die der äusseren Ursache. Auf diesem Standpunkte steht das Empfinden jedes erwachsenen Menschen. Legen wir die

Hand auf eine Tafel auf, so werden wir zwar beim Nachdenken sogleich bewusst, dass wir nicht die Tafel empfinden, sondern nur den Theil der Haut, der die Tafel berührt; aber ohne Nachdenken verwechseln wir sogleich die Empfindung der berührten Hautfläche mit der Vorstellung des Widerstandes und wir behaupten dreist, dass wir die Tafel selbst empfinden, was doch nicht der Fall ist. Bewegt sich nun gar die berührende Hand über weitere Strecken der Tafel hin, so entsteht die Vorstellung von einem grösseren Objecte, als die Hand zu decken vermag. Muss zum Umfassen des Widerstandes, die Bewegung der Hand in verschiedenen Dimensionen oder Directionen geschehen, als die Hand in einer Lage hatte, so entsteht die Vorstellung von Flächen, die in verschiedener Direction angelegt sind und sofort von einem, den Raum anfüllenden und behauptenden, äusseren Körper. Die Empfindung, die wir von den dazu nöthigen Bewegungen der Muskeln haben, ist die nächste Ursache zu dieser Vorstellung des äussern Körpers, denn die erste Vorstellung von einem ausgedehnten oder den Raum erfüllenden Körper entsteht durch die Empfindung unserer Leiblichkeit selbst. Die Leiblichkeit unserer selbst ist das Maass, nach welchem wir sofort im Gefühlssinn, die Ausdehnung aller widerstandleistenden Körper beurtheilen. Die Frage ob die Idee des Raums im Sensorium selbstständig primitiv vorhanden ist und auf alle Empfindungen einwirkt, oder durch die Erfahrung erst successiv entsteht, kann hier ganz übergangen werden. Wir kommen darauf bei der Lehre von den Seelenfunctionen zurück. Hier ist nur soviel gewiss, dass die Vorstellung des Raums, wenn sie auch nicht primitiv dunkel im Sensorium vorhanden ist und beim Empfinden nur geweckt und applicirt wird, durch die ersten Vorgänge beim Empfinden des Gefühlssinnes bereits erfahrungsmässig entstehen muss.

Die dunkeln Vorstellungen eines empfindenden, der Aussenwelt entgegengesetzten Körpers, der selbst den Raum erfüllt, von der Räumlichkeit der Aussendinge sind schon vorhanden und bis zu einigem Grad von Helligkeit und Sicherheit ausgebildet, ehe der Gesichtssinn mit der Geburt in Thätigkeit tritt. Die Empfindungen des Gesichtssinnes werden dadurch bald verständlich und die gewonnenen Vorstellungen auf die Erfahrungen dieses Sinnes bald übertragen.

Es ist ungemein schwer, wenn nicht völlig unmöglich, sich mit einiger Wahrscheinlichkeit einzubilden, wie das Kind die ersten Eindrücke auf die Nervenhaut des Sehorganes beurtheilt, und zu entscheiden, ob das Kind das Bild im Auge als einen Theil seines Körpers, oder als Etwas ausser ihm ansieht. Das Bild kann jedenfalls nicht mit dem Subject oder Ich identisch gehalten werden; denn wie der Schmerz und alles Empfundene ist es ein dem Ich entgegentretendes Object. Ob aber diess Object als Theil des lebendigen Körpers, oder als etwas ausser ihm Liegendes, Entferntes vorgestellt werde, ist eine andere Frage. Man hat öfter behauptet, es liege in der Natur des Gesichtssinnes, dass die Empfindung nicht am Orte, wo sie geschieht, wie beim Gefühlssinn vorgestellt werde; dass die Nervenhaut sich nicht dabei selbst empfindend perci-

pire, und dass die Empfindung nicht am Orte der Nervenhaut, sondern weit davon entfernt gegenständlich werde. Diess lässt sich jedoch nicht geradezu behaupten, denn das Dunkle vor den geschlossenen Augen, welches doch die Empfindung der Ruhe und des reizlosen Zustandes der Nervenhaut des Auges ist, wird eben nur vor den Augen und also am Ort des sensibeln Organs empfunden, und weder hinter uns, noch zu den Seiten, noch in der Ferne vorgestellt. Dieses dunkle Sehfeld der geschlossenen Augen ist aber derselbe Rahmen, dieselbe Tabula rasa, in welcher hernach alle Umrisse der sichtbaren Gestalten als Affection bestimmter Theile der Nervenhaut auftreten.

Wären die Vorstellungen von äussern Objecten, als Ursachen der Empfindung durch den Gefühlssinn nicht schon entstanden, so müsste derselbe Process beim ersten Sehen, wie wir ihn vorher als beim ersten Fühlen stattfindend geschildert haben, eintreten. Die Affectionen der Nervenhaut des Auges würden dem Ich als Objecte entgegentreten, aber unbestimmt, ob sie ausser dem lebendigen Körper, oder an ihm stattfinden. Aber das Kind wird schon mit dunkeln Vorstellungen von Aussendingen ausser seinem lebenden Körper geboren, mit Vorstellungen von ihrer Realitat als Ursache von Empfindungen. Und Empfindung und Vorstellung des Gegenstandes der Empfindung werden schon verwechselt. Die nächsten Vorgänge werden nun, so weit sich als wahrscheinlich errathen lässt, diese seyn.

Die Bilder der Objecte sind in der Nervenhaut in einer Fläche realisirt, wie sie flächenhaft ausgebreitet ist. Sie werden in der Vorstellung auf einer Fläche seyn, ohne irgend eine Idee von Nähe und Ferne, von körperlicher Raumerfüllung. Wie bald auch das Kind die Bilder ausser sich setzt, sie werden ihm in einer Fläche, in einer Entfernung liegen, es greift auch nach dem fernsten wie nach dem nächsten, es greift nach dem Monde. Cheseldens Kranker, der Blindgeborne, welcher das Gesicht durch die Operation erhielt, sah alle Bilder wie in einer Fläche liegend an, obgleich bei ihm die Vorstellungen von der körperlichen Welt durch den Gefühlssinn vollkommen ausgebildet waren. Ihm kam es vor, als ob die Gegenstände auf ihn eindrängten.

Die Unterscheidung der Bilder der Aussenwelt von dem Bilde des eignen Körpers, das sich mit der Aussenwelt in dem Rahmen des Sehfeldes darstellt, wird auf folgende Weise stattfinden. Ein Theil unsers Körpers entwirft wie die Aussendinge ein Bild in unserm Auge. Dieser uns selbst mit den äussern Objecten sichtbare Theil unsers Körpers, ist nach der Stellung grösser oder kleiner, es kann ein grosser, oder kleiner Theil des Rumpfes und der Gliedmassen sein, vom unserm Kopfe ist in dem, auf unserer Netzhaut entworfenen Bilde, nur ein sehr kleiner Theil, nämlich die Flächen der Nase, die Nasenspitze, die gesenkten Augenbraunen und allenfalls auch die Lippen enthalten. Diess Bild unseres eigenen Körpers nimmt in fast allen Gesichtseindrücken regelmässig eine bestimmte Stelle des obern, mittlern, untern Theil des Sehfeldes ein; es bleibt constant, während die übrigen Bilder beständig wechseln.

So wird das Bild des eigenen Körpers bald von dem Kinde, als das constante von denjenigen Bildern unterschieden werden, die je nach den Bewegungen des Körpers und der Augen andern Platz machen. Die Bewegungen im Bilde seines Körpers werden dem Kinde bald noch sicherer die Vorstellung von seinem eignen Körper im Gegensatz zu den absolut äusseren Körpern vorführen. Denn diesen gesehenen Bewegungen im Netzhautbilde entsprechen wirkliche, und mit Intention ausgeführte Bewegungen am Körper selbst. Gefühlsempfindungen von seinem Körper verbinden sich mit Gesichtsempfindungen von seinem Körper. Indem das Kind einen Theil seines Körpers mit der Hand berührt, sieht es diesen Act auch im Gesichtsbilde von seinem Körper ausgeführt. Hier berühret das Bild der Hand das Bild des Körpers. Auf diese Weise werden Vorstellungen für die Gesichtsempfindungen so bindend, dass wir nicht allein das Bild, das wesentlich nur in Affectionen aliquoter Theile unserer Nervenhaut besteht, ausser uns setzen, sondern auch das Empfundene vollständig mit den Gegenständen, trotz aller Unterschiede der Grösse verwechseln.

Ja das flächenhafte Sehfeld wird in der Vorstellung sogar bald zu einem, nach allen Richtungen ausgedehnten Sehraum. Denn mit jeder Bewegung unseres Körpers, mit jedem Schritte vorwärts verändern sich die Formen der Bilder, das Ferne rückt uns nahe, das Nahe bietet uns andere Seiten dar. Diese Verschiebung der Bilder in dem Sehorgane während der Ortsbewegung unseres Körpers, muss in der Vorstellung sich so darstellen, als ob wir zwischen den Bildern uns im Raum bewegen, zwischen ihnen durchschreiten; denn das Bild unseres Körpers im Sehfelde unseres Auges, trifft dabei mit den Bildern von immer andern, äusseren Objecten während der Bewegung zusammen, und die Ortsbewegung ist die Ursache dieser Verschiebungen.

Wir schliessen aus dieser Darstellung, das Versetzen des Empfundenen nach aussen ist eine Folge des Zusammenwirkens der Vorstellung und der Nerven nicht des Sinnes allein, der isolirt nur seine Affectionen empfinden würde.

X. Die Seele nimmt nicht bloss den Inhalt der Empfindungen der Sinne auf, und legt sie vorstellend aus, sie hat auf den Inhalt derselben Einfluss, indem sie der Empfindung Schärfe ertheilt. Diese Intention kann sich bei den Sinnen mit Unterscheidung der räumlichen Ausdehnung auf einzelne Theile des empfindsamen Organes isoliren, bei dem Sinne mit feiner Unterscheidung der Zeitmomente auf einzelne Acte der Empfindung isoliren. Sie kann auch einem Sinne ein Uebergewicht über den andern ertheilen.

Die Aufmerksamkeit kann sich nicht vielen Eindrücken zugleich widmen; finden mehrere zugleich statt, so nehmen sie in dem Maasse ihrer Vermehrung an Schärfe ab, oder die Seele nimmt bloss einen derselben mit Schärfe auf, die anderen aber undeutlich oder gar nicht. Ist die Aufmerksamkeit der Seele von Sinnesnerven abgezogen, und in intellectuelle Betrachtungen, tiefe Speculation, oder in eine tiefe Leidenschaft versunken, so sind die Empfindungen der Nerven der Seele völlig gleichgültig, sie werden gar nicht bemerkt, d. h. zum Bewusstseyn des Ichs ge-

bracht oder so schwach, dass die Seele sie augenblicklich wegen des Uebergewichtes einer bestimmten Vorstellung nicht festzuhalten vermag, oder sich ihres Daseyns erst einige Zeit darauf erinnert, wenn das Gleichgewicht hergestellt ist, und jene occupirende Vorstellung gleichsam die Wageschale verlassen hat. Die Schärfe, welche sich einzelnen Sinnen ertheilen lässt, wenn andere Sinne ganz unthätig sind, ist daraus leicht begreiflich, die Aufmerksamkeit wird nicht mehr unter mehreren Sinnen getheilt, sondern jedesmal der Zergliederung der Empfindungen des bestimmten Sinnes zugewandt. Der Blinde bringt es im Gefühl zu einer bewunderungswürdigen Schärfe, dass er die feinen Erhabenheiten, z. B. auf Münzen, leicht unterscheidet, ja sogar zuweilen das Corpus oder Korn eines Färbestoffs von einem andern zu unterscheiden vermag.

Die Intention zergliedert aber auch das Detail einer einzigen Sinnesempfindung. Da die Seele nicht fähig ist allen Theilen einer afficirten Hautstelle eine gleich scharfe Aufmerksamkeit zuzuwenden, so wird die Schärfe der Empfindung aller Theile successiv erreicht, durch Abspringen der Intention von einem Theil der Nervenfasern auf andere. Durch Intention kann eine schwache, juckende Empfindung, an einem Punkte der Gesichtshaut, einen ausserordentlichen Grad von lästiger Schärfe und Dauer erhalten, dagegen sie von selbst vergeht, wenn man darauf vergessen kann. Bei dem Gesichtssinn findet dieselbe Intention statt. Wollte man die Intention dem ganzen Sehfelde einer Gesichtsempfindung zuwenden, so würde man nichts mit Schärfe sehen. Die Intention neigt sich bald auf dieses, bald auf jenes und zergliedert das Detail der Empfindung, und dasjenige, worauf die Intention gerichtet ist, wird jedesmal schärfer als das übrige derselben Empfindung gesehen. Diess ist nicht bloss so zu verstehen, dass die Mitte der Nervenhaut, an welcher die Schärfe der Empfindung am stärksten ist, sich successiv verschiedenen Theilen des Objectes zuwendet, so dass das übrige undeutlich gesehen wird; sondern bei unverwandter Sehachse kann die Intention auch für das seitlich liegende der Gesichtsempfindung sich schärfen. Bei unverwandter Sehachse können wir, eine zusammengesetzte, mathematische Figur betrachtend, die einzelnen Elemente derselben successiv schärfer sehen und das übrige der Figur misachten. Die betrachtete vieleckige Figur, in ihrem Innern durch Linien eingetheilt, gewährt einen verschiedenen Eindruck, je nachdem die Aufmerksamkeit diesen oder jenen Theil des Ganzen sich einprägt; ein einzelnes Dreieck in der ganzen Figur kann unsere Intention ganz beschäftigen, im nächsten Augenblick kann die Intention auf eine durch das Dreieck durchgelegte, andere Figur übergehen, die vorher schon vorhanden war, aber bei der scharfen Anschauung des Dreiecks misachtet war. Es ist ebenso mit architectonischen Zierrathen, Rosen, Arabesken; und der Reiz dieser Figuren besteht grossentheils darin, dass sie das lebendige Wirken und Verändern der Intention in hohem Grade anregen, und dadurch selbst vor uns eine Art von Lebendigkeit offenbaren. Beide Augen sehen zwar in der Regel und bei gleicher Sehkraft gleichzeitig, aber die Inten-

tion vermag auch wieder den Gesichtseindruck des einen Auges zum herrschenden zu machen, wie später empirisch gezeigt werden soll, und es lässt sich deutlich beweisen, dass beim Sehen mit zwei Augen, ohne dass wir es beim gewöhnlichen Sehen merken, ein Wettstreit beider Augen stattfindet, und dass der Eindruck, je nach der Störung des Gleichgewichts, ein ganz verschiedener ist. Das Sehen mit beiden Augen durch verschieden gefärbte Gläser auf ein weisses Blatt kann vorläufig als Beispiel dienen. Die Eindrücke von blau und gelb vermischen sich dabei nicht leicht, sondern bald ist das blaue, bald das gelbe vorherrschend. Bald erscheinen blaue wolkenartige Flecken auf dem gelben, bald gelbe, ihre Grösse verändernde Flecken auf blauem Felde, bald ist die eine Farbe allein herrschend, und hat die andere absorbirt, bald umgekehrt. Das fleckenweise Erscheinen der einen Farbe auf der andern zeigt sogar, dass ein Theil der Nervenhaut des einen Auges, mit Theilen der Nervenhaut des andern Auges intendirt seyn kann.

Bei dem Gehörsinn, welcher die räumliche Ausdehnung in der Art, wie beim Gesichtssinn und Gefühlssinn nicht unterscheidet, aber die schärfste Empfindung für die Zeitfolge der Eindrücke hat, ist die Wirkung der Intention eine andere. Das Gehörorgan unterscheidet örtlich höchstens, dass das eine oder das andere Ohr hört, oder schärfer hört, und dann kann allerdings auch, wenn in beide Ohren Verschiedenes gesprochen wird, die Intention sich dem einen oder dem andern Eindruck mehr hingeben. Bewunderungswürdig ist aber die Wirkung der Intention auf die Unterscheidung der schwachen Töne; wir überhören gewöhnlich die schwachen Nebentöne der Saiten und anderer Tonwerkzeuge, durch Intention schärfen wir die Empfindung derselben, wie die des leisesten Geräusches. Noch merkwürdiger ist die Fähigkeit, durch Intention von vielen gleichzeitig gehörten Tönen eines Orchesters jeden herauszuhören, und selbst dem schwächern Klang eines Instrumentes unter den übrigen mit Aufmerksamkeit zu folgen, wobei die Eindrücke der übrigen an Schärfe abnehmen.

Beim Schluss dieser Einleitung in die Physiologie der Sinne wirft sich die Frage auf, ob die Zahl der Sinne eine beschränkte sei, und ob es nicht bei einzelnen Thieren auch noch andere geben könne. Die Täuschung in welche Spallanzani verfiel, indem er den geblendeten Fledermäusen, wegen ihrer geschickten Flugbewegung in der Nähe der Wände, einen eigenen Sinn zuschrieb, ist bekannt. Ebenso dass Manche den Thieren wegen ihrer Vorempfindung der Witterungsveränderung einen eigenen Sinn zuschrieben. Da der Zustand des Luftdrucks, die Menge des Wasserdampfs in der Atmosphäre, die Temperatur, die Electricität auf die ganze thierische Oeconomie unseres Körpers schon so bedeutend wirken, dass wir ihre Veränderungen empfinden, so kann man sich recht gut die Möglichkeit solcher, und noch grösserer Wirkungen auf die Thiere denken. Indessen wird auch bei grosser Abhängigkeit von der Witterung in Hinsicht der Empfindung damit kein neuer Sinn gegeben seyn. Die Witterung kann vielmehr durch die Zustände des ganzen Ner-

vensystems empfunden werden, und sie wird es zumeist durch die Empfindungen der Nerven, die am zahlreichsten und ihr am meisten ausgesetzt sind, der Gefühlsnerven. Ein besonderer Sinn für die Electricität, woran man als möglich bei irgend einem Thiere gedacht hat, ist a priori nicht statthaft. Denn die Electricität wirkt schon, wie oben gezeigt wurde, auf alle Sinne, deren eigenthümliche Empfindungen sie anregt. Das Wesentliche eines neuen Sinnes liegt nicht in dem Umstand, dass damit Perception von äusseren Gegenständen entsteht, die gewöhnlich nicht auf die Sinne wirken, sondern dass die äussern Ursachen eine eigenthümliche Art des Empfindens erregen, welche in den Empfindungen unserer fünf Sinne noch nicht enthalten ist. Eine eigenthümliche Art des Empfindens wird von den Kräften des Nervensystems abhängen, und dass eine solche bei einzelnen Thieren vorkomme, lässt sich a priori nicht läugnen, indess sind keine Thatsachen bekannt, welche die Existenz einer neuen eigenthümlichen Sinnesart feststellen; auch ist es ganz unmöglich, über die Natur einer Empfindung etwas an Anderen, als an sich selbst zu erfahren.

Einige haben die inneren Empfindungen des Gefühlssinnes, wodurch wir die Zustände unseres Körpers erfahren, als etwas vom Gefühlssinn Verschiedenes angesehen, und das Gemeingefühl coenaesthesis einem Sinne ziemlich nahe gestelt. Diese Unterscheidung ist fehlerhaft, denn die Gefühle des Gemeingefühls sind von derselben Gattung, wie die Gefühle der Haut, welche von aussen erregt werden, in manchen Organen nur unbestimmter, dunkler. Auch ist es für den Sinn gleich, ob er von aussen oder innen gereizt wird, und bei keinem Sinne unterscheiden wir objective und subjective Empfindungen, als etwas wesentlich Verschiedenes. Die Bezeichnung Tastsinn drückt allerdings eine besondere Beziehung des Gefühlssinnes zur Aussenwelt aus. Aber das Tasten bringt nur die Energien des Gefühlssinnes zur Perception, welchen überall dieselben Nerven mit doppelten Wurzeln, die gemischten Hirn- und Rückenmarksnerven dienen. Das dem Tasten Analoge kömmt auch bei den andern Sinnen vor, es ist ein willkührlich dirigirtes Fühlen, so giebt es aber auch ein Hören, Sehen, Schmecken, Riechen (Spüren). *Allgemeine Litteratur der Physiologie der Sinne:* Le Cat *traité des sens. Amst.* 1744. Elliot *über die Sinne. Leipz.* 1785. Steinbuch *Beiträge zur Physiologie der Sinne. Nürnberg* 1811. Tourtual *die Sinne des Menschen. Münster* 1827.

I. Abschnitt. Vom Gesichtssinn.

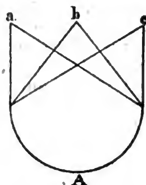
I. Capitel. Von den physikalischen Bedingungen der Bilder im Allgemeinen.

a. Von den möglichen Arten der Sehorgane.

Aus den in der Einleitung zur Physiologie der Sinne angeführten Thatsachen geht hervor, dass Licht und Farbe Sensationen des Sehnerven und der Nervenhaut des Auges sind, und dass das Dunkle vor den Augen Empfindung der Ruhe, des reizlosen Zustandes der Nervenhaut ist. Die Sensationen des Lichtes und der Farben entstehen aus dem Dunkel der ruhigen Nervenhaut, da wo aliquote Theile der Nervenhaut, durch irgend einen innern Reiz (Blut u. a.), oder äussern Reiz (Druck, Electricität u. a,) erregt sind. Je nach der gereizten Stelle der Nervenhaut hat die Lichtempfindung auch auf dem dunkeln Sehfelde eine andere Stelle. Das Druckbild von Affection der einen Seite des geschlossenen Auges hat seine bestimmte Stelle, das Druckbild der andern Seite ihre ebenso bestimmte, entgegengesetzte Stelle; und die Druckbilder von Affection des obern und untern Theils der Nervenhaut erscheinen auch im Sehfeld entgegengesetzt. Ist der drückende Körper klein, z. B. eine stumpfe Spitze und also die gedrückte Stelle der Nervenhaut auch klein, so ist auch das Lichtbild klein. Geschieht der Druck hingegen an den Seiten des Auges in einiger Breite mit der Kante eines Körpers, so ist das Druckbild auch dem entsprechend ausgedehnt. Diese Bilder sind nicht scharf, weil der Druck auf das Auge, durch die Augenlieder und durch die Augenhäute, auch einigermassen in die Breite wirkt. Wäre es aber möglich den Druck scharf auf bestimmte Stellen der Nervenhaut zu isoliren, so würde man ohne Zweifel auch ganz scharfe Bilder von mechanischer Ursache erhalten. Das physikalische imponderable Princip, das den Namen Licht erhalten hat, weil die lichten Affectionen der Nervenhaut des Auges von ihm gewöhnlich herrühren, bringt, wenn es die ganze Nervenhaut gleichmässig afficirt, in ihr die Empfindung eines, über das ganze Sehfeld verbreiteten Lichtes hervor, und macht das ruhige Dunkel vor den Augen zum lichten Sehfeld. Wirkt aber dieses, der Erregung der Nervenhaut homogene und wohlthätige Princip, auf einzelne Theile der Nervenhaut ein, so stellen die gereizten aliquoten Theile der Nervenhaut in der Empfindung begrenzte, lichte Bilder dar, und die Schatten dieser Bilder sind die dazwischen liegenden, nicht gereizten Stellen der Nervenhaut, welche ruhig, wie bei geschlossenen Augen dunkel bleiben. Dadurch wird das Sehen von Körpern möglich, die entweder jenes Princip selbst ausstrahlen, leuchten, oder es von leuchtenden Körpern empfangend, als undurchgänglich (undurchsichtig) zurückwerfen, und

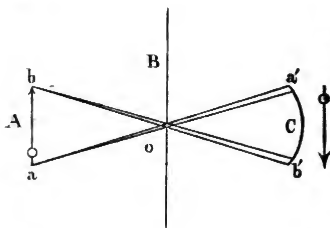
auf diese Art in das Licht empfindende Auge werfen. Die Lichtempfindung entsteht dann an einer bestimmten Stelle des Auges, und man glaubt den Körper vor sich zu haben, welcher doch jenes die Lichtempfindung erregende Princip, welches er anderswoher erhalten, nur zurück und ins Auge wirft.

Wenn aber das Licht lichte Abdrücke oder Bilder von den Gegenständen, von welchen es kommt, auf der Nervenhaut entwerfen soll, so ist es nöthig, dass das von bestimmten Theilen der äussern Objecte, entweder unmittelbar oder durch Reflexion kommende Licht auch wieder nur entsprechende Theile der Nervenhaut in Thätigkeit setze; wozu besondere physikalische Bedingungen nöthig sind. Das Licht verbreitet sich von dem leuchtenden, jenes imponderable Princip ausstralenden Körper stralig nach allen Richtungen, welche dem Durchgang desselben kein Hinderniss entgegensetzen (durchsichtig). Ein leuchtender Punct wird also eine Fläche allseitig erleuchten, und nicht wieder einen einzelnen Punct dieser Fläche hell machen; und wenn die Fläche, welche das ausstralende Licht eines Punctes empfängt, die nackte Oberfläche der Nervenhaut des Auges wäre, so würde das Licht eines Punctes die Lichtempfindung in allen Theilen der Nervenhaut und nicht in einem Puncte derselben erregen, und das gilt so von allen übrigen Lichtpuncten, welche die Nervenhaut strahlend beleuchten können. Z. B. wenn Fig. 1. *A* die concave Oberfläche der Nervenhaut wäre, so wird das rothe Licht von *a* die ganze Nervenhaut *A*, das farblose Licht von *b* auch die ganze Nervenhaut *A*, das gelbe Licht von *c* auch die ganze Nervenhaut *A* beleuchten, und es wird also die ganze Nervenhaut *A* roth, licht und gelb sehen, d. h. jeder Punct der Nervenhaut wird zugleich von rothem, farblosem und gelbem Lichte bestimmt, und der Eindruck kann den verschieden gefärbten Puncten *a*, *b*, *c* nicht entsprechen, sondern wird ein gemischter seyn, aus *a*, *b*, *c*, aus rothem, farblosem und gelbem Lichte, ohne dass *a*, *b*, *c* als getrennte Puncte unterschieden werden. Ebenso wird es seyn, wenn die Nervenhaut eines Auges, wie bei den Insecten und Crustaceen nach aussen convex ist. Eine nackte Nervenhaut ohne optische, das Licht sondernde Apparate würde also nichts Bestimmtes sehen, sondern nur im Allgemeinen den lichten Tag empfinden, und von der Nacht unterscheiden können.



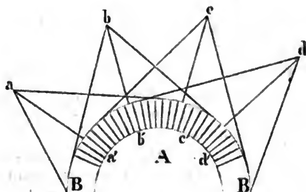
Wenn also durch das äussere Licht, ein den Körpern entsprechendes Lichtbild im Auge erregt werden soll, so ist es nöthig, dass Apparate vorhanden sind, welche das von einzelnen Puncten *a*, *b*, *c* — *n* ausgehende Licht auch wieder nur in einzelnen Puncten der Nervenhaut in derselben Ordnung wirken lassen, aber verhüten, dass ein Punct der Nervenhaut von mehreren Puncten der Aussenwelt zugleich beleuchtet werde. Diess ist im Allgemeinen auf dreierlei Art möglich, und die Natur hat zwei Arten dieser Apparate bei der Construction der Augen angewandt. Siehe von den beiden in der Natur möglichen Arten des Sehorgans,

J. Mueller *vergleichende Physiologie des Gesichtssinnes. Leipz.* 1826. *p.* 307.



1. Der leuchtende Körper sei *A*, *C* sei die lichtempfindende Nervenhaut, *B* sei eine zwischen *A* und *C* befindliche undurchsichtige, oder für das Licht undurchdringliche Wand, nur der Punct *o* in dieser Wand sei offen und durchsichtig. Ausser dieser Oeffnung soll die Nervenhaut *C* von keiner Seite aus Licht erhalten und also ganz beschattet seyn. So werden die Lichtstrahlen von *a* durch *o* durchgehend nur in *a'* der Nervenhaut, die Lichtstrahlen von *b*, durch *o* durchgehend, nur in *b'* der Nervenhaut zur Erscheinung kommen, und jeder Punct des Körpers *a....b* wird in einer besondern Stelle der Nervenhaut *a'.....b'* repräsentirt seyn. Denn *a* und *b* in dem Körper *A* sind mathematische Puncte, *a'* und *b'* in der beleuchteten Nervenhaut sind kleine Flächen, die um so grösser seyn und das Bild desto undeutlicher machen werden, je grösser die Durchgangsöffnung *o* der Wand ist. Je kleiner *o* ist um so bestimmter wird zwar das Bild seyn, aber um so dunkler auch, denn um so dünner ist der Lichtkegel, der von jedem Puncte *a....b* des Körpers durch diese Oeffnung durchgeht. Vergl. über die optische Kammer Roget *animal and vegetable physiology. London* 1834. *II. p.* 451. Kunzek *die Lehre vom Lichte. Lemberg* 1836. *p.* 28. Die Natur hat von diesem Apparat zur Sonderung des Lichtes keinen Gebrauch gemacht, wahrscheinlich weil der Erfolg zu gering und die Intensität des Lichtes jedes Punctes nur durch Aufgeben der Deutlichkeit erlangt werden kann.

2. Die zweite Art der Sonderung der Lichtstrahlen zur Erzeugung eines Bildes auf der Nervenhaut, auf welche ich zuerst im Jahre 1826 in der Schrift zur Physiologie des Gesichtssinnes aufmerksam machte, ist diese. Vor der Nervenhaut stehen durchsichtige Kegel nebeneinander in ungeheurer Anzahl senkrecht auf, welche das in der Richtung ihrer Achse kommende Licht allein bis zur Nervenhaut gelangen lassen, alles seitlich in sie eintretende Licht, welches schief auf ihre Wände auffallen muss, absorbiren sie durch Pigmente womit ihre Wände bekleidet sind. *A* sei die Nervenhaut, welche von convexer Oberfläche sei, und die Oberfläche einer Kugel darstelle, die durchsichtigen Kegel *B* sollen in den Radien dieser Kugel

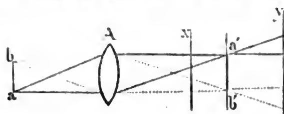


stehen. Das von *a*, *b*, *c*, *d* ausgehende Licht wird nur diejenigen Strahlen bis zur Nervenhaut senden können, welche in der Richtung der Radien der Kugel liegen. So entwirft der Punct *a*, obgleich er die ganze Oberfläche des Auges beleuchtet, doch nur sein Bild in einem einzigen Punct *a* der Nervenhaut, *b* nur sein Bild in *b*, *c* nur in *c*, *d* nur in *d*. Alles übrige seitlich einfallende Licht ist ausgeschlossen. Man sieht leicht ein, dass die Deutlichkeit des Bildes auf der Nervenhaut zunehmen muss, je mehr Kegel auf der Oberfläche der Nervenhaut gleich Radien stehen, und dass wenn 1000 Kegel vorhanden sind, auch 1000 Theilchen des Sehfeldes im Bilde repräsentirt sind, und wenn 10,000 durchsichtige Radien, die Deutlichkeit um das Zehnfache vervielfacht seyn wird. Diese Organisation, welche man sich durch Combination als mögliche Art des Sehorgans aufstellen konnte, fand ich in den zusammgesetzten Augen aller Insecten und Crustaceen verwirklicht. Es versteht sich von selbst, dass ein solches Sehorgan kugelig, oder ein Abschnitt einer Kugel seyn muss. Wenn seine Circumferenz sich flach einer ebenen Fläche nähert, so werden die äussersten Kegel am Rande des Organes auch wenig divergiren, und das Auge nur einem kleinen Theil der Aussenwelt entsprechen. Das Sehfeld wird aber in gleichem Grade mit der Convexität des Auges, oder mit der Grösse des Kugelabschnittes wachsen. Die Darstellung des Bildes in mehreren tausenden gesonderten Puncten, wovon jeder Punct einem Feldchen der Aussenwelt entspricht, gleicht einer Mosaik, und man kann sich aus einer kunstreichen Mosaik die beste Vorstellung von dem Bilde machen, welches die Geschöpfe, die solcher Organe theilhaftig sind, von der Aussenwelt erhalten werden. Ein Nachtheil bei einer solchen Art der Sonderung des Lichtes ist, dass die Quantität des Lichtes, welches von einem Puncte durch einen Kegel zur Nervenhaut kommt, so sehr gering ist. Indessen scheint, wie man beim Sehen bei einbrechender Dunkelheit bemerkt, auch bei uns zum einfachen Sehen ohne besondere Schärfe, selbst eine äusserst geringe Lichtmenge nöthig zu seyn, ein unendlich kleiner Theil des Lichtes, dem unser Auge am hellen Tage ausgesetzt ist, und auch bei uns kam es der Natur mehr darauf an, die Menge des Lichtes zu mässigen, als sie zu gestatten. Die kleinste Pupille ist beim hellen Tag noch zum Sehen hinreichend.

Man kann diese Art lichtsondernder Apparate, musivische dioptrische Mittel, im Gegensatz der lichtsammelnden collectiven Mittel nennen.

3. Die vorher beschriebene Art der Isolirung des von verschiedenen Puncten ausgehenden Lichtes auf verschiedene Puncte des Organes, geschah durch Sonderung und Ausschliessung der Strahlen, welche hindernd sind; auch durch Sammlung der von einem Puncte ausgehenden divergirenden Strahlen wieder in einen Punct ist die Isolirung und noch viel bestimmter, und mit grösserer Lichtstärke möglich. Nothwendig muss sich dann aber das empfindende Organ gerade an der Stelle befinden, wo die Strahlen wieder zu einem Puncte vereinigt sind, oder an der Spitze des Lichtkegels. Bei der vorhergehenden Art

des Sehens war keine solche Bedingung nöthig, hier wird sie bindend. Wenn der durchsichtige Körper A, z. B. das Vermögen hat das von a ausgehende, und ihn ganz beleuchtende Licht wieder in einen Punct a′ zu sammeln, und



ebenso das von b ausgehende in b′ zu sammeln, und von jedem Puncte zwischen a und b aber auch wieder zwischen a′ und b′ einen Punct zu entwerfen, so wird das vollkommenste Bild von *ab* in *a′b′* repräsentirt und wird gesehen werden, wenn sich die Nervenhaut in *a′b′* befindet. Dagegen wird das Bild durchaus unvollkommen seyn, wenn sich die Nervenhaut vor oder hinter *a′b′* z. B. in *x* oder *y* befindet. Denn in diesem Falle wird von *a* nicht ein Punct, sondern eine Fläche, von *b* und von jedem Punct *a....b* nicht ein entsprechender Punct, sondern ein Feld entworfen, und das Licht der einzelnen Puncte zu Zerstreuungsbildern zerstreut.

Körper, welche das Licht in jenem Sinne zu sammeln vermögen, sind die durchsichtigen das Licht brechenden Mittel, deren vollkommenste für das Sehorgan zweckmässigste Gestalt die linsenförmige ist, wie sich specieller sogleich ergeben wird.

Es ist hier der Ort einige falsche Vorstellungen zu widerlegen, die man sich hin und wieder aus Unkenntniss der zum Sehen nothwendigen physicalischen Bedingungen macht. Man stellt sich oft vor, dass es Thiere gebe, welche Lichtempfindung durch die Haut haben. Es ist nicht zu bezweifeln, dass manche niedere Thiere, welche gegen den Einfluss des Lichtprincips reagiren, keine Augen haben. Rapp (*Nov. act. acad. nat. Cur. XIV. p.* 2.) beobachtete, dass Veretillum cynomorium, ein Polyp, sehr sensibel gegen das Licht ist, dass er die dunkeln Orte liebt und sich im Lichte zusammenzieht. In Hinsicht der Hydren haben die Versuche von Trembley, Baker, Hanow, Roesel, Schaeffer, Bonnet, Goeze zu keinem bestimmten Resultat geführt. Ingenhouss und Goldfuss berichten, dass die priestleysche grüne Materie sich an hellen Orten anhäufe. Die grüne Materie, welche sich an hellen Orten anhäuft, mag wohl aus lebenden Infusorien bestehen, da viele eine grüne Farbe, manche sogar Augenpuncte haben, wie Ehrenberg beobachtet hat. Was man indess gewöhnlich grüne Materie von Priestley nennt, besteht oft nur aus den abgestorbenen Leibern grüner Infusorien, wie der Euglena viridis und anderer.

Was nun die Reaction niederer Thiere ohne Augen gegen das Licht betrifft, so liegen keine Thatsachen vor, welche beweisen, dass diese Thiere durch die Haut oder die ganze Oberfläche ihres Körpers vom Princip des Lichtstoffes, oder von den Undulationen dieses Princips wirklich die Lichtempfindung und nicht eine andere Empfindung haben. Wir empfinden vom Princip des Lichtes auch etwas durch die Haut, nämlich Wärme, aber wir haben keine Lichtempfindung davon, deren wenn wir den Thatsachen folgen wollen, nur der Sehnerve fähig ist. Von dieser Art mögen die Reactionen der niederen Thiere ohne Augen gegen

das Licht seyn. Selbst die Pflanzen reagiren stark genug dagegen, indem sie bei ihrer Ausbreitung es aufsuchen und ihm entgegen wachsen.

Die Nothwendigkeit besonderer Nerven mit specifischer Sensibilität zum Lichtempfinden, wird auch durch die wirkliche Existenz von Augen bei vielen der niedersten Thiere erwiesen. Viele Anneliden, wie mehrere Nereiden, mehrere Arten Eunice, Phyllodoce, Spio, Nais, fast alle Hirudineen, Aphrodite heptacera haben dunkle Augenpunkte am Kopfe. Eine den Sabellen zunächst stehende, von Ehrenberg, Henle und mir beobachtete Gattung hat zwei solche dunkle Puncte am hintern und vordern Ende des Körpers. Sie kriecht rückwärts und vorwärts. Hirudo medicinalis hat wie E. H. Weber zeigte, zehn dunkle Augenpunkte am Kopfe, die man beim Embryo des Thiers von dem noch durchsichtigen Körper deutlich unterscheidet. Die Planarien haben durch Pigment ausgezeichnete Augenflecke am Kopfe. Bei mehreren Cercarien und Rotiferen sind dergleichen Augenpuncte von Nitzsch, Dutrochet, Gruithuisen, Ehrenberg beobachtet. Der letztere Forscher hat die Existenz solcher Pigmente oder Augenpuncte bei vielen Infusorien, und auch bei den Seesternen am Ende ihrer Strahlen, welche sie beim Schwimmen erheben, entdeckt, ja sogar bei den Medusen die gleiche Bedeutung der Pigmentorgane am Rande der Scheibe wahrscheinlich gemacht. Mueller's *Archiv* 1834. Bei den Anneliden sind die Sehnerven in jenen Augenpuncten von mir nachgewiesen worden. (*Ann. d. sc. nat.* XXII. 19.) Und Ehrenberg hat gezeigt, dass die Nerven der Strahlen der Asterien bis zu den Augenpuncten am Ende der Strahlen hingehen.

Gruithuisen (*Isis* 1820. 251.) nimmt an, dass jede dunkle Stelle der Haut einigermassen mit der Natur eines Sehorganes in Beziehung stehe, weil sie mehr Licht absorbirt. Dies ist offenbar unrichtig; denn die erste Bedingung zum Sehen ist die specifische Sensibilität des Nerven und dass der zum Sehen dienende Nerve kein Gefühlsnerve sei.

Ferner beweist gerade der Bau der Augen bei den Würmern, dass selbst zum einfachen Unterscheiden des Tages von der Nacht noch ein besonderer Nerve und ein Organ nöthig ist. Denn nach meinen Untersuchungen über den Bau der Augen bei den Anneliden geht hervor, dass die Augen dieser Thiere durchaus keine optischen Werkzeuge für die Sonderung des Lichtes enthalten, und also auch nichts Bestimmtes unterscheiden können. Innerhalb der becherförmigen Choroidea, der von mir untersuchten Nereis-Art ist keine Linse und keine Spur der lichtsondernden Organe der Insecten enthalten. Vielmehr ist der von der Choroidea umgebene Körper nur der Bulbus nervi optici selbst. Die Natur hat also, wo es auf die blosse Unterscheidung von Tag und Nacht ankommt, noch Organe dazu gebildet, und diese Bedeutung mögen wohl auch die Augenpunkte der Planarien, Asterien, Rotiferen und Infusorien haben.

Eine zweite kritische Bemerkung, die wir hier machen müssen, betrifft die aus Unkenntniss der physikalischen Bedingungen zum

Sehen vorkommende Meinung, als wäre auch beim Menschen durch die Haut, vermöge einer gesteigerten oder veränderten (versetzten) Empfindung, ein Sehen möglich.

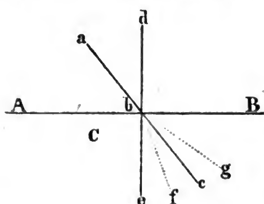
Es ist bekannt, dass man mit den Fingern die Farben nicht als Farben erkennen kann, wenn es auch möglich seyn mag die Gefühlseindrücke des Corpus oder Korns einiger stark aufgetragenen Farbestoffe zu unterscheiden, da sie uneben sind und Adhäsion zu den berührenden Theilen haben. Die Nothwendigkeit lichtsondernder, optischer Apparate, musivischer oder collectiver Art zur Erzeugung eines Bildes auf einer empfindenden Haut widerlegt hinlänglich das Sehen auf der Herzgrube, oder mit den Fingern in sogenannten thierisch magnetischen Zuständen. Selbst wenn die Haut der Herzgrube oder der Finger das Vermögen der Lichtempfindung hätte, was sie nicht haben, so würde doch noch kein Sehen statt finden können, wenn keine Apparate vorhanden wären, das von verschiedenen Puncten a, b, c, d — n eines Objectes kommende Licht, auch wieder auf Puncten a, b, c, d — n der empfindenden Fläche zur Erscheinung zu bringen. Und ohne solche Apparate, würden die Herzgrube und die Finger, wenn sie auch das Vermögen der Lichtempfindung besässen, nichts Anderes als den Tag von der Nacht unterscheiden können. Da aber diese Theile überhaupt keiner Lichtempfindung fähig sind, und sich keinerlei Empfindung versetzen kann, so ist in keinem Falle bei einem sogenannten Magnetischen auch nur eine vage Unterscheidung des Tags von der Nacht durch jene Theile möglich, und es geschieht dieselbe nur durch die Augen, die auch, wenn sie verbunden sind, leicht noch recht gut den Tag sehen, ja unter sich recht gut die Objecte sehen, wie jedem bekannt ist, der einmal blinde Kuh gespielt hat. Liegt man gar horizontal mit verbundenen Augen, wie die sogenannten Magnetischen in ihrem sogenannten Schlaf, so kann man mit verbundenen Augen ein ganzes Zimmer unter der Binde überschauen. Welcher gebildete Arzt möchte nun wohl solche Mährchen glauben? Vom Stand der Wissenschaft lässt sich recht gut einsehen, dass ein Schlafender ein Gesichtsphantasma hat, wie man sie bei geschlossenen Augen schon vor dem Einschlafen erlebt; denn die Sehnerven können so gut von innen, wie von aussen zur Empfindung gereizt werden; und so lange eine sogenannte Magnetische nichts Anderes zeigt als die gewöhnlichen Nervensymptome, wie sie auch in anderen Nervenkrankheiten vorkommen, ist alles glaubhaft; sobald aber eine solche durch eine Binde vor den Augen, oder durch die Finger, oder durch den Magen sehen will, um die Ecke und in des Nachbars Haus sieht, prophetisch wird, so verdient ein so arger Betrug keine Schonung mehr, und die offene und derbe Erklärung des Betrugs und Possenspiels ist dann passender, als die Bewunderung.

b. Von den physicalischen Bedingungen der Bilder durch brechende Mittel.

Die Wichtigkeit der Lehre von der Refraction des Lichtes für die Erörterung des Sehens beim Menschen und den Thieren,

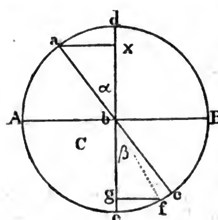
deren Sehorgane auf der Benutzung brechender Mittel beruhen, macht es nothwendig die Hauptsätze der Lehre von der Refraction des Lichtes in Erinnerung zu bringen. In dem Folgenden habe ich die bewährtesten physikalischen Werke über diese Gegenstände benutzt. Ich beziehe mich auf die Schriften von Porterfield, Priestley, Fischer, Biot, Kunzek, Brandes. Besonders wichtig ist Porterfield *a treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision.* 2 *Vol. Edinb.* 1759.

Wenn Lichtstrahlen aus dem leeren Raume in einen durchsichtigen Körper, oder aus einem dünnern Medium in ein dichteres übergehen, und senkrecht auf der Fläche des zweiten Mediums einfallen, so gehen sie in derselben Richtung fort, wenn sie aber in einer von der senkrechten Richtung abweichenden Richtung auf die Einfallsebene des zweiten Mediums einfallen, so wird ihre Richtung durch das zweite Medium verändert, und der geradlinig bleibende Strahl wird dem Einfallsloth zugelenkt. So wenn *AB* die Einfallsebene des dichteren Mediums *C* ist, so wird der Lichtstrahl *ab*, statt in der Richtung *bc* fortzugehen, dem Perpendikel *de* zugelenkt, und in der Richtung *bf* im dichteren Medium fortgehen.



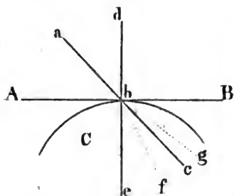
Wenn hingegen der Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Körper schief in den leeren Raum, oder aus einem dichteren Körper in einen dünnern übergeht, so wird er vom Perpendikel abgelenkt, und statt in der Richtung *bc* fortzugehen, die Richtung *bg* verfolgen.

Der einfallende, der gebrochene Strahl und das Einfallsloth liegen übrigens in derselben Ebene, Heisst der Winkel zwischen dem einfallenden Strahl *ab* und dem Einfallsloth *db*, der Einfallswinkel, der Winkel zwischen dem gebrochenen Strahl *bf* und dem Einfallsloth *be* der Brechungswinkel, so ist *ax* der Sinus des Einfallswinkels, *fg* der Sinus des Brechungswinkels. Die Erfahrung hat gelehrt, dass wenn die beiden Mittel dieselben bleiben, das Verhältniss zwischen dem Sinus des Einfallswinkels α zum Sinus des Brechungswinkels β unveränderlich dasselbe bleibt, mag die Neigung des einfallenden Strahls gegen das brechende Mittel gross oder klein seyn. Das Brechungsverhältniss zweier Medien wird also durch $\frac{\text{Sin. } \alpha}{\text{Sin. } \beta}$ ausgedrückt. Nicht die Winkel, nur die Sinus der Winkel haben diess gleiche Verhältniss bei allen möglichen Neigungen des einfallenden Strahles zum brechenden Mittel; indess ist es, so lange die Winkel wie bei den Centralstrahlen



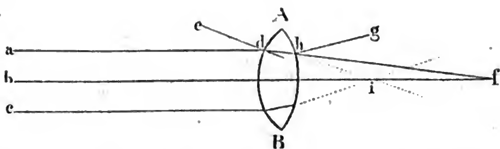
der Linsen klein sind, keine erhebliche Unrichtigkeit, auch das Verhältniss der Winkel als beständig anzunehmen. Das Brechungsverhältniss von Luft und Wasser ist $\frac{4}{3}$, von Luft und gemeinem Glas $\frac{3}{2}$. Das Brechungsvermögen der Körper hängt übrigens nicht bloss von der Dichtigkeit derselben, sondern auch von ihrer Brennbarkeit ab.

Da eine krumme Fläche des brechenden Mediums aus unendlich vielen geraden Flächen zusammengesetzt gedacht werden kann, so kann bei einem, auf einer krummen Fläche des brechenden Mediums *C*, einfallenden Lichtstrahl *ab*, die Tangente *AB* als Einfallsebene angesehen werden, und das Einfallsloth, nach welchem der Lichtstrahl durch das brechende Mittel zugelenkt wird, ist hier der die Tangente im Berührungspunkte der Curve treffende Perpendikel *de*. So wird der Lichtstrahl *ab* durch das brechende dichtere Mittel dem Perpendikel *de* zugelenkt, und die Richtung *bf* verfolgen, durch das dünnere Mittel vom Perpendikel *de* abgelenkt und die Richtung *bg* verfolgen.



Für die Lehre vom Sehen wird nun die Kenntniss der Lichtbrechung in sphärischen Linsen von Wichtigkeit. Denn diese Körper sind unter gewissen Umständen fähig, die von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen, wieder in einen Punct zu vereinigen, und dadurch ein Bild des Punctes zu entwerfen.

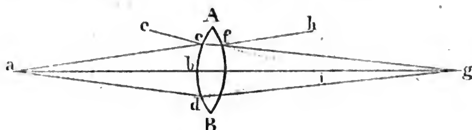
Fallen Lichtstrahlen parallel, oder von einem leuchtenden Puncte aus unendlicher Entfernung auf einer ebenen Brechungsfläche ein, so werden sie zwar (bei schiefem Einfall) gebrochen, aber ihr Parallelismus kann nicht verändert werden, fallen aber parallele Lichtstrahlen auf eine Linse mit sphärischer Oberfläche ein, so werden sie gesammelt, oder in convergirende Richtung gebracht.



a, *b*, *c* seien parallele Lichtstrahlen, *b* sei der Achsenstrahl der Linse *AB*, dieser wird ohne Brechung durch die Linse *AB* durchgehen, die übrigen, welche schief auffallen und schief austreten, werden gebrochen, der Lichtstrahl *a* wird dem Einfallsloth *ed* zugelenkt, und durch die Linse den Weg *df* nehmen; aber er wird zum zweiten Mal beim Austritt aus der Linse in ein dünneres Medium gebrochen; beim Austritt ist *hg* das Einfallsloth, der Strahl wird beim Uebergang ins dünnere Medium vom Einfallsloth abgelenkt, und

also dem Achsenstrahl *bf* noch mehr zugelenkt, die Richtung *hi* nehmen. Sind die Strahlen *a* und *c* gleichweit vom Achsenstrahl *b* entfernt, so wird sich die Brechung des Strahls *c*, ganz so wie des Strahls *a* verhalten, d. h. beide Strahlen werden den Achsenstrahl nach dem Austritt aus der Linse an irgend einer Stelle *i* schneiden, in diesem Puncte sind alle drei Strahlen vereinigt, über den Punct hinaus divergiren sie wieder. Da nun, was von *a* und *c* gilt, von allen parallelen Strahlen gelten muss, die gleichweit vom Achsenstrahl entfernt, mit diesem auf die Linse einfallen, so werden alle diese Strahlen in dem gemeinsamen Puncte *i* sich schneiden, den man den Brennpunct der Linse nennt. Die Distanz des Brennpunctes paralleler Strahlen von der Linse hängt von dem Brechungsvermögen der Linsensubstanz überhaupt, und von der Convexität ihrer beiden Flächen ab; natürlich wird dieser Punct der Linse um so näher seyn müssen, je convexer ceteris paribus ihre beiden Flächen sind.

Kommen die Strahlen aus dem Brennpuncte der Linse, so werden sie durch die Linse so gebrochen, dass sie parallel fortgehen. Aus diesem Satze und dem vorhörgehenden, ergiebt sich schon, dass wenn die Lichtstrahlen aus einem Puncte kommen, der weiter von der Linse entfernt ist, als der Brennpunct, aber nicht so weit als eine unendliche Entfernung (parallele Strahlen), sie weder im Brennpuncte der Linse, noch auch in unendlicher Entfernung zur Vereinigung kommen können. Vielmehr ist dann der Punct ihrer Vereinigung zwischen dem Brennpunct und der unendlichen Entfernung gelegen, und je näher der leuchtende Punct der Brennweite der Linse kommt, um so weiter wird der Vereinigungspunct der Lichtstrahlen hinter der Linse seyn, und sich dem Parallelismus nahern; je weiter aber der leuchtende Punct sich von der Brennweite der Linse entfernt, um so mehr wird die Distanz der Vereinigung der Lichtstrahlen abnehmen, bis diese Vereinigung wieder bei unendlicher Entfernung des leuchtenden Punctes, (parallele Strahlen) in den Brennpunct der Linse fällt.



a sei der leuchtende Punct, der weiter von der Linse entfernt sei, als die Brennweite der Linse beträgt, *AB* die Linse, so wird der Achsenstrahl *ab* ungebrochen durchgehen. *ac* wird zwei Mal gebrochen, an der vordern und hintern Fläche der Linse; an der vordern wird der Lichtstrahl *ac* dem Einfallsloth *ec* zugelenkt, und in der Richtung *cg* fortgehen, bei *f* wird der Strahl zum zweiten Mal gebrochen, und beim Uebergang in das dünnere Medium vom Einfallsloth *fh* abgelenkt, d. h. die Richtung *fi* nehmen. Wenn *bc*=*bd*, so ist die Brechung des Lichtstrahls *ad* ganz

dieselbe, wie die von *ac*, und beide werden in demselben Puncte *i* den Achsenstrahl schneiden. Auch gilt dasselbe von allen Strahlen des Punctes *a*, die gleichweit wie *ac* und *ad* vom Achsenstrahl entfernt sind, *acd* kann also als die Peripherie eines Kegels angesehen werden, welche Peripherie von Lichtstrahlen gebildet wird, die alle ihre Vereinigung in *i* haben. Die Entfernung des Punctes *i* von der Linse heisst die Vereinigungsweite des Bildes, welche wohl von der Brennweite unterschieden werden muss. Die Brennweite ist die Vereinigungsweite von parallelen Strahlen. Divergirende Strahlen haben ihre Vereinigungsweite immer hinter dem Brennpuncte, und die Vereinigungsweite entfernt sich um so mehr von der Brennweite, je näher der leuchtende Punct der Linse kommt.

Die Vereinigungsweite des Bildes hängt ab: 1) von dem Brechungsverhältniss der Linse zum Medium vor der Linse (n : 1), 2) von der Convexität beider Flächen der Linse, die durch die Grösse der Halbmesser der Kugeln ausgedrückt wird, zu welcher die Convexitäten gehören; 3) von der Entfernung des Gegenstandes. Sind diese drei Puncte bekannt, so lässt sich die Vereinigungsweite des Bildes für jede Entfernung des Gegenstandes berechnen. Wie eine Gleichung zwischen den Halbmessern der Linse, dem Brechungsverhältnisse derselben, der Distanz des Objectes und der Vereinigungsweite gefunden werde, diess auszuführen gehört nicht eigentlich hieher, und muss ich in dieser Hinsicht auf die Lehrbücher der Physik verweisen. Siehe z. B. Fischer *Lehrb. d. mechan. Naturlehre. II. p.* 211. *und* Kunzek *die Lehre vom Lichte. Lemberg* 1836. 115. Die Gleichung zwischen den genannten Grössen ist:

$$\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}.$$

$\frac{n}{1}$ ist das Brechungsverhältniss oder das Verhältniss des Einfallswinkels zum Brechungswinkel. Z. B. für Luft und Glas $\frac{3}{2}$. n — 1 würde also für Luft und Glas $\frac{3}{2} - 1$ seyn, *f* und g sind die Halbmesser der Convexitäten der Linse, a ist die Entfernung des leuchtenden Punctes von der Linse, und α ist die gesuchte Vereinigungsweite des Bildes. Ist z. B. der Brechungsexponent für Luft und Glas $\frac{3}{2}$, die Halbmesser der Linse 10 und 12 Linien, die Entfernung des leuchtenden Punctes 100 Linien, so wäre die Gleichung

$$\frac{\frac{3}{2}-1}{10} + \frac{\frac{3}{2}-1}{12} = \frac{1}{100} + \frac{1}{x} \text{ oder } \frac{3}{2} - 1 \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{12}\right) = \frac{1}{100} + \frac{1}{x}$$

Aus der Formel $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ ergiebt sich auch die Vereinigungsweite für parallele Strahlen. Da bei parallelen Strahlen die Entfernung des leuchtenden Punctes unendlich ist, so ist $\frac{1}{a} = o$; daher ist, wenn a unendlich gross ist, $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{\alpha}$ oder wenn die Vereinigungsweite für divergirende

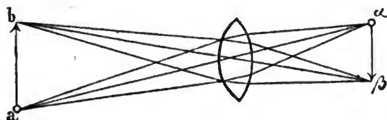
Strahlen vorzugsweise α genannt bleiben soll, so ist die Brennweite einer Linse in der Formel $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{p}$ bestimmt.

Aus der Verbindung der Formel für die Vereinigungsweite $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$ und der Formel für die Brennweite $\frac{n-1}{f}+\frac{n-1}{g}=\frac{1}{p}$ ergiebt sich eine noch einfachere Grundformel für optische Bestimmungen. Denn da die erste Seite beider Gleichungen dieselbe ist, so ist $\frac{1}{p}=\frac{1}{a}+\frac{1}{\alpha}$. Hier ist p die Brennweite der Linse, a die Entfernung des leuchtenden Punctes, α die Vereinigungsweite des Bildes, und so lässt sich also die Vereinigungsweite für jede Entfernung des leuchtenden Punctes leicht aus der Brennweite der Linse, und der Entfernung des leuchtenden Punctes finden. Aus der letzten Gleichung ergiebt sich $\alpha=\frac{ap}{a-p}$

Die Vereinigungsweite des Bildes eines leuchtenden Punctes wird also gefunden, wenn man das Product aus der Entfernung des Objectes von der Linse, und der Brennweite der Linse durch die Differenz beider dividirt. Siehe das Nähere in Fischer's *mechanischer Naturlehre*. 2. 213.

Befindet sich die Wand, welche das Bild auffängt, nicht in der Vereinigungsweite, so wird natürlich statt des leuchtenden Punctes, ein Zerstreuungskreis, oder der Durchschnitt eines Lichtkegels dargestellt, und diess wird sich gleich bleiben, mag die auffangende Wand vor oder hinter der Vereinigungsweite sich befinden. Im ersten Falle haben sich die Strahlen des Lichtkegels noch nicht vereinigt, im letzten Falle, weichen sie nach der Vereinigung wieder kegelförmig auseinander.

Bisher ist bloss die Brechung der Linsen für den Fall betrachtet worden, dass der Gegenstand ein leuchtender Punct ist. Hat der leuchtende Gegenstand Ausdehnung, und liegen die leuchtenden Puncte desselben in einer Ebene, die senkrecht auf der Verlängerung der Achse der Linse steht, so liegen ihre Bilder auch in umgekehrter Ordnung in einer solchen Ebene. Ist *ab* der Gegenstand, so wird der von *a* ausgehende Strahlenkegel nach α gebrochen und kömmt dort zur Vereinigung, der von



b ausgehende Strahlenkegel wird nach β gebrochen, und vereinigt sich in β zu einem leuchtenden Puncte, und in gleicher Ordnung die übrigen. Das Bild hat die umgekehrte Lage des Objectes, das obere ist unten, das untere oben, das rechte links, das linke rechts, während die relative Lage der einzelnen Theile des Bildes ganz die-

selbe bleibt. Der mittlere Strahl des Lichtkegels $a\alpha$ und $b\beta$ heisst der Hauptstrahl, weil er nicht oder fast nicht verändert wird, wie der Achsenstrahl bei einem in der Achse der Linse liegenden leuchtenden Puncte. Die übrigen Strahlen des Kegels convergiren gegen denselben nach der Brechung, und das Bild des Punctes entwirft sich also jedenfalls in der Richtung des Hauptstrahls, dieser Strahl bestimmt also die Lage des Punctes im Bilde, und die Hauptstrahlen der Lichtkegel der einzelnen Puncte bestimmen auch die Grösse des Bildes.

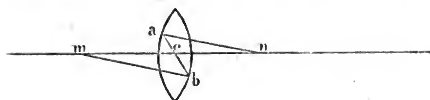
Die Stellen, wo sich die Strahlen der von der Achse abgelegenen Punkte wieder vereinigen, lässt sich durch Berechnung finden, und aus ihrer Bestimmung ergiebt sich, dass wenn der ausserhalb der Achse liegende Punct der letztern nahe ist, so dass die auf die Linse fallenden Strahlen nur kleine Winkel mit der Achse bilden, die einzelnen Puncte des Bildes in einer mit dem Objecte parallelen geraden Ebene liegen.

Gregory (Priestley's *Geschichte der Optik* 162.) wollte bemerkt haben, dass durch ein sphärisches Linsenglas das Bild einer, auf die Achse senkrecht stehenden Figur nicht wieder eben, sondern gekrümmt und zwar gegen das Glas hohl sei; und dass wenn das Bild eben seyn soll, die Flächen des Glases nach der Figur eines Kegelschnittes geschliffen seyn müssten. Priestley giebt diess zu und bemerkt dann, dass der daraus entstehende Fehler unmerklich sei, weil die Flächen der Gläser nur sehr kleine Kugelstücke sind. Kaestner bemerkt indess hierzu, dass wenn man die Abweichung der Strahlen von dem Vereinigungspuncte nicht beachte, d. h. wenn man die Winkel ihren Sinus proportional setze, die schärfste unter dieser Voraussetzung angestellte Rechnung, keine Krümmung des Bildes einer ebenen Figur entdecke; derselbe hat eine solche Rechnung im 2. *Bd. der deutschen Schriften der Götting. Gesellschaft der Wissenschaften* geliefert. Dass die Ebene des Bildes der Ebene des Objectes parallel ist, wenn diese senkrecht auf die Achse der Linse gerichtet ist, ist übrigens eine Erfahrungsthatsache. Für geringe Ausdehnung des Bildes, ist auch der mathematische Beweis des Satzes nicht schwierig, und ist in den ausführlichen physikalischen Lehrbüchern mit mathematischer Behandlung gegeben. Kunzek *Lehre vom Lichte*. 120.

Optischer Mittelpunct der Linsen.

Insofern die beiden Flächen einer Linse, nahe dem Durchgang der Achse parallel, oder so gut als parallel sind, werden Strahlen, welche durch die Mitte der Achse einer Linse schief durchgehen, wenn ihr Ein- und Austritt innerhalb des parallelen Theils beider Flächen der Linse geschieht, von der Direction, die sie beim Einfallen der Linse hatten, nach dem Austritt nicht abweichen. Ihre Brechung verhält sich so, wie bei schief auffallenden Strahlen durch eine Glasplatte mit ganz parallelen Flächen. So viel der Strahl beim Eintritt in das Glas dem Einfallsloth zugelenkt wird, um ebenso viel wird er beim Austritt abgelenkt; er behält also seine Direction. Daher ist eben der mittlere Strahl eines mässig schief auffallenden Strahlenkegels, welcher durch die Mitte der Achse der Linse durchgeht, als unverändert in seiner

Direction zu betrachten, und bestimmend für die Direction des Bildes, welches sich von einem ausser der Achse der Linse liegenden Puncte entwerfen wird. Der Punct in der Achse der Linse, durch welchen die Strahlen durchgehen müssen, wenn sie ungebrochen bleiben sollen, ist übrigens bei verschieden convexen Flächen der Linse nicht genau der Mittelpunct der Linsenachse, sondern weicht davon nach vor- oder rückwärts ab, nur wenn beide Flächen gleiche Halbmesser haben, fällt er mit dem Mittelpuncte der Achse der Linse zusammen. Man nennt diesen Punct den optischen Mittelpunct der Linse. Zum bessern Verständniss der Untersuchung des Sehens führe ich hier die Bestimmung dieses Punktes an, so wie sie von FISCHER *a. a. O.* 217. gegeben wird.

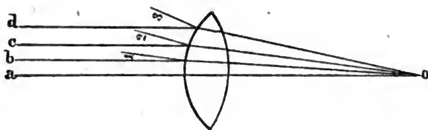


n sei der Mittelpunct der vordern Fläche der Linse, d. h. der Kugel, zu welcher sie gehört, *m* der Mittelpunkt der hintern Fläche der Linse. *a* ist ein beliebiger Punct der vordern Fläche, so ist *an* der Radius dieser Fläche. Die von dem Mittelpunkte der andern Fläche *m* gezogene Linie *mb* sei parallel mit *an*. Die Linie *ab* schneidet die Achse der Linse in *c*, und *c* ist der optische Mittelpunct der Linse. Denn da *an* und *mb* parallel sind, so die Winkel *nab* und *mba* gleich. Wenn *ab* ein Lichtstrahl, so ist der Winkel, den er mit dem Einfallsloth *an* macht, gleich dem Winkel, den er mit dem Einfallsloth *mb* macht. Zu dem Brechungswinkel *nab*, verhält sich der Einfallswinkel aus der Luft in das Glas, ebenso wie zu dem Einfallswinkel *mba*, der Ablenkungswinkel aus dem Glase in die Luft, folglich ist der Einfallswinkel in das Glas, dem Ablenkungswinkel aus dem Glase in die Luft gleich, und daher bleibt sich der einfallende und ausfallende Strahl parallel, und der Strahl muss als ungebrochen betrachtet werden. Ist die Linse doppelt convex, aber ungleichseitig, so liegt der optische Mittelpunct näher der convexern Fläche.

Abweichung, Aberration wegen der Sphäricität.

Bisher wurde hauptsächlich nur die Brechung der durch den mittlern Theil der Linse durchgehenden Strahlen berücksichtigt, nun muss auch das Verhalten, der durch den Randtheil der Linse durchgehenden Strahlen und ihr Verhältniss zum Vereinigungspunct betrachtet werden. Welches auch die Gestalt einer sphärischen, planconvexen oder biconvexen Linse seyn mag, in jedem Fall werden diejenigen parallelen Strahlen, die gleichweit von der Achse der Linse entfernt in sie eintreten, sich in demselben Punct vereinigen. Denn ihre Eintritts- und Brechungswinkel sind gleich; ebenso werden sich von einem Lichtkegel, dessen Achse durch die Achse einer Linse durchgeht, jedesmal diejenigen, in einem Kreis die Linse treffenden Strahlen wieder in einen Punct vereinigen, welche gleichweit von der Achse der Linse entfernt in sie eintreten. Wie verhalten sich aber die übrigen Strahlen eines Lichtkegels, werden sie auch in denselben Vereinigungspunct auf-

genommen, oder ist ihr Vereinigungspunct ein anderer. Sollen die parallelen Strahlen *a, b, c, d* sich in dem Brennpuncte *o* vereinigen, so müssen die Brechungen der Strahlen *a, b, c, d* zunehmen, je weiter entfernt diese Strahlen von der Achse einfallen. In der That nehmen auch bei dem convexen Mittel die Einfallswinkel 1, 2, 3 mit der Entfernung der Strahlen *b, c, d* von der Achse *a* zu. Zur Vereinigung paralleler Strahlen in einem Brennpunct sind also gekrümmte Flächen des brechenden Körpers nöthig.

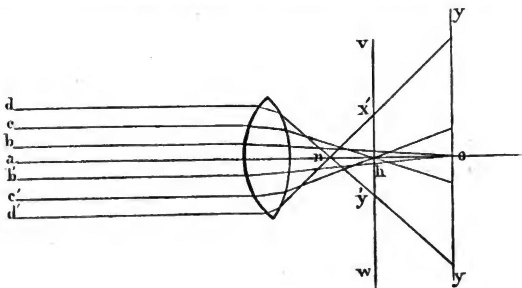


Es frägt sich nun aber, in welchem Verhältniss müssen die Brechungswinkel paralleler Strahlen von der Achse bis zum Rande der Linse wachsen, wenn sie sich in einem einzigen Puncte vereinigen sollen, oder mit anderen Worten, von welcher Art müssen die Curven der Linsenflächen für diesen Zweck seyn. Erfahrung und Berechnung zeigen, dass Kugeloberflächen der Linsen diesen Zweck nicht vollkommen erreichen, und dass die Curven, welche zu einer vollkommen scharfen Vereinigung der Lichtstrahlen in einen Punct nöthig sind, von der Kugelgestalt abweichen. Aber Linsen ohne sphärische Oberflächen sind nicht durch Schleifen zu erzielen. Bei der Kugelgestalt der Linsenoberflächen nimmt die Brechung der Randstrahlen schneller zu, als es geschehen sollte, wenn die Vereinigung aller Centralstrahlen und Randstrahlen in einem Punct geschehen könnte. Diess nennt man die Abweichung, Aberration der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt, Aberration de sphaericité. Die Vereinigungspuncte sind vielmehr verschieden für alle Strahlenkreise vom Centrum bis zum Rande, und die Vereinigungspuncte rücken um so weiter vorwärts gegen die Linse, je weiter die Kreise werden, oder mehr Randstrahlen zugelassen werden. Ueber die mathematische Untersuchung dieses Gegenstandes siehe Gehler's *physik. Wörterb. VI. I.* 396.

Ein mathematischer Beweis dieser Erfahrung, der leicht verständlich wäre, ist mir nicht bekannt, daher dieser Gegenstand hier füglicher empirisch hingestellt wird, wie es auch von Biot in seiner Experimentalphysik geschehen, und gewöhnlich in den physikalischen Lehrbüchern geschicht. Kunzek sucht zwar durch eine geometrische Deduction die Abweichung der Lichtstrahlen wegen der Kugelgestalt begreiflich zu machen, allein diese verfehlt offenbar ihren Zweck. Er zeigt, welche Aenderung die Lichtstrahlen durch ein Prisma erleiden, wenn man den brechenden Winkel des Prisma vergrössert. Eine sphärische Linse sei aber als ein Prisma zu betrachten, dessen brechender Winkel an der Achse gleich Null ist, von da an aber bis zum Rande der Linse symmetrisch zu jeder Seite der Achse zunehme. Weil nun der durch ein Prisma gehende Lichtstrahl, eine desto grössere Ablenkung von seiner ursprünglichen Richtung erleide, je mehr der

brechende Winkel des Prisma vergrössert wird, und weil die Linse ein Prisma ist, dessen brechender Winkel von der Achse gegen die Ränder der Linse zunehme, so müssen auch diejenigen Strahlen, welche die Linse in einem weitern Abstande von der Achse treffen, mehr von ihrer Richtung abgelenkt werden, und daher die Achse früher schneiden als die Centralstrahlen, a. a. O. p. 127. Das letztere, was bewiesen werden sollte, folgt keineswegs aus der ganzen Deduction. Denn bei einer vollständigen Vereinigung, sowohl der Centralstrahlen als Randstrahlen in einem Punct, müssen die Ablenkungswinkel der Strahlen von ihrer Richtung bis zum Rande auch wachsen. Denn würden sie nicht wachsen, so würden die parallel einfallenden Lichtstrahlen zwar gebrochen, aber in unveränderter Richtung parallel fortgehen, d. h. die Linse wäre dann ein Prisma, dessen Brechungswinkel nicht gegen den Rand zunehmen, sondern bleiben, die Linse wäre keine Linse, sondern ein einfaches Prisma. Es hängt nur von der Art dieses Wachsthums oder von der Form der Curve ab, ob die Randstrahlen und Centralstrahlen sich in einem Punct vereinigen oder nicht.

Für unsern Zweck ist es genug bei der empirischen Thatsache stehen zu bleiben, dass die Randstrahlen einer Linse mit Kugelflächen näher zur Vereinigung kommen, als die Centralstrahlen. In der Figur



seien die Strahlen *d c b a b' c' d'* parallel. Die Strahlen *b* und *b'* werden, da sie gleichweit von der Achse *a* entfernt sind, und die Brechung in der Nähe der Achse sehr gering ist, am weitesten von der Linse in einem Punct *o* die Achse schneiden; die weiter von der Achse entfernten Strahlen *c* und *c'* werden sich in *h*, die am weitesten entfernten Strahlen *d* und *d'* in *n* vereinigen und kreuzen. Befindet sich in *o* eine das Licht aufnehmende Fläche, so wird nicht bloss der Brennpunct der Centralstrahlen, sondern auch ein Zerstreuungskreis aller übrigen Strahlen entstehen, welche ihren Brennpunct nicht in *o*, sondern in *h*, *n* und anderen Puncten der Achse *ao* haben, *yy* wird der Durchmesser dieses Zerstreuungskreises seyn. Befindet sich die Wand

in *h*, so erscheint dort der Brennpunct der Strahlen *c c'* mit dem Zerstreuungskreis *x' y'* u. s. w.

Sind die Strahlen *d, c, b, a, b', c', d'* nicht parallel, sondern der Basaltheil eines Lichtkegels von endlicher Entfernung, so giebt es auch wieder keine Sammlung in einen Punct, und auf der Wand werden sich auch jedesmal, ausser einem bestimmten Vereinigungspunct gewisser Strahlen, die Zerstreuungskreise der andern Strahlen zeigen. Können die Strahlen auf den Centraltheil und Randtheil der Linse zugleich einfallen, so werden die Zerstreuungskreise natürlich am stärksten hervortreten, mag die Wand sich in *ow* oder *yy* befinden; denn jedesmal werden dann ausser dem Vereinigungspunct bestimmter Strahlen, die Zerstreuungen aller übrigen zur Erscheinung kommen. Können aber die Randstrahlen abgehalten werden, und werden nur die Centralstrahlen zugelassen, so fällt, wenn die Wand sich im Vereinigungspuncte der Centralstrahlen *o* befindet, der ganze Zerstreuungskreis aller übrigen Strahlen *xy* weg, und das Bild ist rein. Diess wird durch Bedeckung des Randtheils der Linse, durch einen ringförmigen Schirm, Diaphragma bewirkt. Ebenso wird das Bild rein werden, wenn das Licht bloss durch den Randtheil der Linse durchgeht und der Centraltheil bedeckt wird, denn dann fällt der Zerstreuungskreis von den Centralstrahlen weg. Die letztere Art der Bedeckung kömmt bei den optischen Instrumenten nicht vor, weil die Abweichung am Rande schädlicher ist. Aber alle optischen Instrumente müssen zur Erzielung reiner Bilder mit Randschirmen, Diaphragma, versehen seyn.

Bei einer sehr geringen Oeffnung des Diaphragma, können auch wieder neue und eigenthümliche Phänomene von der Beugung des Lichtes am Rande des Diaphragma stehen, welche die Form und Deutlichkeit des Bildes auffallend verändern.

Die Aberration der Sphäricität kann durch Aenderung des Verhältnisses der Krümmungen beider Kugelflächen vermindert, und auf ein Minimum gebracht werden. So klein als möglich wird sie nach Herschel, wenn der Radius der Hinterfläche der Linse 6 — 7 Mal so gross als der Radius der Vorderfläche ist. Werden zwei dünne Linsen sich berührend zusammengesetzt, so lassen sich Verhältnisse der Radien angeben, bei denen die Aberration von der Kugelgestalt ganz wegfallt. Gehler's *physik. Wörterb. I.* 167. Auch zunehmende Dichtigkeit einer Linse gegen ihre Mitte muss die Aberration vermindern. Denn dann wird die Brennweite der Centralstrahlen verkürzt und der kürzern Brennweite der Randstrahlen genähert. Linsen, deren Aberration vermieden wird, heissen aplanatische.

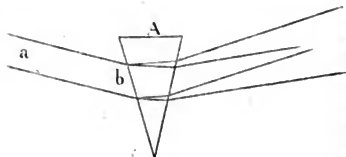
c. Von den physicalischen Bedingungen der Farben.

1. Dioptrische Farben. Newton'sche Farbenlehre.

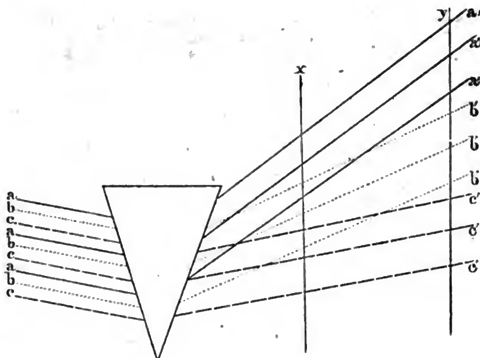
In der Litteratur dieses Gegenstandes sind hervorzuheben: Newton's *Opticks;* Goethe's *Farbenlehre;* Brandes *Artikel Farben in* Gehler's *physikal. Wörterb;* Fischer *mechanische Naturlehre;* Pfaff *über* Newton- *und* Goethe'sche *Farbenlehre*; die drei

letztgenannten Schriften sind in Beziehung auf die Beurtheilung der Goethe'schen Farbenlehre bemerkenswerth.

Bei der Brechung erleidet das Licht nicht bloss eine Ablenkung von seiner Richtung, sondern erscheint auch unter gewissen Bedingungen farbig. Schon bei dem Gebrauche der Linsen werden farbige Säume um die Bilder bemerkt. Am stärksten wird jedoch die Farbenerscheinung bei der Anwendung der Prismen wahrgenommen. Stellt *ab* ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen vor, welche schief auf das Prisma einfallen, so werden diese zwei Mal durch die vordere und hintere Fläche des Prisma gebrochen; aber statt dass die Strahlen in der neuen Richtung parallel fortgehen sollen, hat sich das Lichtbündel erweitert, und zeigt, wenn es von einer Fläche aufgefangen wird, Regenbogenfarben. Es ist nicht nöthig, um diese Farben zu beobachten, das Licht durch die Oeffnung eines Fensterladens in eine dunkle Kammer fallen zu lassen; man beobachtet sie am hellen Tage, wenn man das Sonnenlicht durch das Prisma auf eine Wand fallen lässt, aber im dunkeln Zimmer ist die Erscheinung der Farben viel lebhafter und die Grenzen des Bildes deutlicher. Statt eines runden Bildes entwirft das durch das Prisma gebrochene Lichtbündel, eine langgezogene Figur, mit geraden Seitenrändern, und oberer und unterer Abrundung, in welcher sich die Farben in der Reihe violet, blau, grün, gelb, orange, roth folgen. Nach den Gesetzen der Brechung allein würden die parallelen Lichtstrahlen, durch das Prisma zwar eine andere Richtung erhalten, aber doch parallel bleiben. Da sich das Bild erweitert hat, so ist offenbar, dass die Lichtstrahlen, indem sie ihren Parallelismus verlassen, eine verschiedene Brechung erlitten haben. Diese Thatsache führte Newton zu seiner Theorie der Farben. Aus der Wirkung des Prisma's folgerte er, dass in dem angewandten Lichtbündel der Sonne, verschiedene Elemente oder Strahlen enthalten seyn müssen, welche verschiedene Brechbarkeit besitzen, und von welcher nur die gleichartigen oder gleichbrechbaren in gleicher Richtung fortgehen. Sind z. B. (in der folgenden Figur) in dem Bündel paralleler Lichtstrahlen, *a*, *a*, *a* gleich brechbar, *b*, *b*, *b* unter sich gleich brechbar, aber verschieden brechbar als *a*, ferner *c*, *c*, *c* unter sich gleich brechbar, aber verschieden brechbar von *a* und *b*, so werden nur die Strahlen *a'*, *a'*, *a'* die Fortsetzung von *a*, *a*, *a*, als gleich brechbar, nach der Brechung parallel seyn, die von *a* verschieden brechbaren *b*, *b*, *b* werden nach der Brechung mit *a'*, *a'*, *a'* nicht parallel bleiben, aber unter sich parallel bleiben als *b'*, *b'*, *b'*, während die Strahlen *c*, *c*, *c* welche wieder eine andere Brechbarkeit als *a* und *b* haben werden, weder mit *a* noch mit *b* parallel bleiben können, aber unter sich parallel bleiben.



Die gleichartigen Strahlen *a'*, *a'*, *a'* erscheinen in derselben



Farbe, violet, die gleichartigen Strahlen b', b', b' in derselben Farbe, blau, die gleichartigen c', c', c' in derselben Farbe, grün und so Andere wieder gelb, orange, roth. Violet und Roth liegen an den entgegengesetzten äussersten Grenzen des Farbenbildes, indem das violette Licht die grösste, das rothe die geringste Brechbarkeit hat. Die Farben werden aber nur dann gesehen, wenn das Bild in gehöriger Entfernung vom Prisma aufgefangen wird. Z. B, in der Entfernung y, wo die von einander sich entfernenden Strahlen a', b', c' sich nicht mehr decken. Wird aber das Bild näher dem Prisma aufgefangen, z. B. in x, so decken sich im mittlern Theile des Bildes die ungleichartigen Strahlen a', b', c', in diesem Falle erscheint der mittlere Theil des Bildes weiss, und nur das obere und untere Ende farbig, je näher dem Prisma das Bild aufgefangen wird, um so weniger haben sich die ungleichartigen Strahlen gesondert, und unter diesen Umständen ist der mittlere weisse Theil des Bildes um so grösser, der farbige Saum aber um so kleiner.

Diess führt zu dem Schluss, dass das Weisse dann gesehen werde, wenn dieselben Stellen eines Körpers ungleichartige Strahlen aller Art zugleich erhalten und ins Auge werfen, dass hingegen die Farbe dann erscheine, wenn das gleichartige Licht einer Art den Eindruck hervorbringt, mit anderen Worten, dass das weisse Licht aus den verschiedenen Farben zusammengesetzt sei, welche zusammen weiss geben, durch brechende Mittel aber wegen ihrer verschiedenen Brechbarkeit zur Sonderung gebracht werden.

Diese Schlussfolge wird darin bestätigt, dass sich die farbigen Lichter wieder zu Weiss vereinigen lassen.

1. Wenn das farbige Licht hinter dem Prisma mit einem Sammelglase aufgefangen wird, so werden die farbigen Bilder an bestimmter Stelle wieder in ein weisses vereinigt, während hinter dieser Stelle die Farben abermals gesondert fortgehen.

2. Dasselbe wird erreicht, wenn man das Sonnenlicht durch

zwei Prismen von gleichem brechendem Winkel und entgegengesetzter Stellung durchgehen lässt. In diesem Falle hebt durch Brechung in entgegengesetzter Richtung das zweite Prisma die Wirkung des ersten auf, und das Bild kann nur weiss erscheinen.

3. Durch Vereinigung der, durch das Prisma erzeugten, farbigen Lichter, vermittelst eines Hohlspiegels in einem Puncte, indem man die Strahlen schief auffallend nach unten reflectiren lässt. Eine an diesem Puncte aufgestellte weisse Tafel, zeigt statt der Farben ein farbloses Sonnenbild.

Die dioptrischen Farben kommen, wiewohl schwächer, auch bei der Anwendung der Linsengläser, statt der Prismen, als regenbogenfarbige Säume der Gegenstände vor. Eine Linse kann als ein Prisma betrachtet werden, dessen brechender Winkel gegen den Rand der Linse zunimmt, und bei welchem die Zerlegung des Lichtes nicht bloss, wie beim Prisma, nach oben und unten, sondern in allen Richtungen vom Centrum nach der Peripherie zu geschieht. Die farbigen Säume sind um so stärker, je mehr das Bild von der Vereinigungsweite entfernt ist.

Der Gebrauch des Wortes Strahlen bei Darstellung der Newton'schen Farbentheorie hat bei Einigen die unstatthafte Vorstellung veranlasst, als wenn, zufolge dieser Theorie, jeder Strahl des weissen Lichtes aus mehreren Strahlen farbigen Lichtes, gleich wie aus seinen Elementen zusammengesetzt sei. Man muss vielmehr bei einer fehlerfreien Auffassung der Resultate, welche aus den Newton'schen Entdeckungen folgen, auf das Sehorgan zurückgehen, welches bei dem Phänomen der Farben und des Lichtes mitwirkt. Bekanntlich ist die Nervenhaut des Auges aus den Enden von ausserordendlich vielen Nervenfasern wie eine Mosaik zusammengesetzt. Jede Papille dieser Mosaik stellt den kleinsten elementaren Theil des Sehorganes dar, welcher einer Empfindung fähig ist.

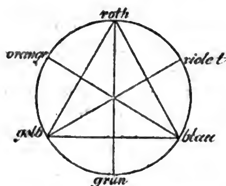
So lange verschiedenfarbiges Licht auf diese Mosaik des Sehorganes so fällt, dass von den Elementartheilen der Nervenhaut jeder gleichartiges Licht erhält, nämlich *a* von blauem, *b* von gelbem, *c* von rothem Licht beschienen wird, so lange werden auch diese farbigen Eindrücke als nebeneinander existirend empfunden. Wenn aber dieselben Netzhauttheilchen von allen Hauptfarben zugleich beleuchtet werden, so dass dieselbe Netzhautpapille roth, gelb und blau zu sehen bestimmt wird, so wird weder das eine noch das andere, sondern ein gemischter Eindruck weiss gesehen. Und dieses ist es, welches aus den Newton'schen Erfahrungen allein gefolgert werden kann. Also gleichzeitiger Eindruck aller Farben auf demselben Theilchen der Netzhaut bringt den Eindruck des Weissen hervor.

Newton nahm ohne hinreichenden Grund sieben dioptrische Farben an, in welche das weisse Licht durch Brechung zerlegt werde, und zu lange blieb man bei dieser willkührlichen Annahme, welche nicht erst durch T. Mayer und Goethe hätte verbessert werden sollen. Es giebt nur drei Hauptfarben, aus denen sich alle übrigen durch Mischung erklären, das Gelbe, das Blaue, das Rothe. Zwischen Gelb und Blau steht Grün und entsteht durch deren

Mischung; zwischen Blau und Roth Violet; zwischen Roth und Gelb steht Orange. Fällt rothes und blaues Licht auf dasselbe Theilchen der Nervenhaut des Auges, so wird weder das eine noch das andere, sondern Violet gesehen, und ebenso mit den übrigen Farben, die sich zu gemischten Eindrücken verbinden. Daher ist eine Verbindung von einer gemischten Farbe mit einer reinen, so viel als eine Verbindung aller drei Hauptfarben, weil die gemischte Farbe immer schon die beiden anderen Hauptfarben enthält, d. h. $\frac{2}{3}$ Orange und $\frac{1}{3}$ Blau ist soviel als $\frac{1}{3}$ Blau, $\frac{1}{3}$ Roth und $\frac{1}{3}$ Gelb, welche beiden letzteren eben $\frac{2}{3}$ Orange bilden. Bringt man daher das prismatische Orange und das prismatische Blau durch besondere Vorrichtung zur Vereinigung auf derselben Tafel, so ist der Eindruck Weiss, wie von allen drei Hauptfarben, desgleichen Weiss von Roth und Grün (enthaltend Blau und Gelb), desgleichen Weiss von Gelb und Violet (enthaltend Blau und Roth). Eine gemischte prismatische Farbe und eine reine, welche zusammen Weiss geben, heissen complementär. Grün und Roth sind complementär, desgleichen Violet und Gelb, desgleichen Blau und Orange. Das Dunkle oder Schwarze ist nichts Positives, und nichts als der Ausdruck der Ruhe gewisser oder aller Theile der Nervenhaut des Auges. Sind farbige Eindrücke ohne Zumischung von Weiss sehr schwach, so sind sie nothwendig zugleich mehr oder weniger dunkel. Ist der Eindruck des weissen Lichtes schwach genug, so erscheint dem Sehorgan Grau; (wie man sagt aus der Mischung des Weissen und Schwarzen). Das Graue kann indess auch aus der Mischung der Pigmentfarben hervorgehen, rothes, gelbes, blaues Pigment gemischt geben Grau. Auch aus zwei Pigmenten allein lässt sich Grau bilden, wenn die eine derselben eine reine Farbe, die andere eine gemischte ist, d. h. aus zwei anderen gemischt ist, welche mit der reinen die drei Hauptfarben Roth, Gelb, Blau repräsentiren.

So bildet Roth und Grün gemischt Grau.
— — Gelb — Violet — —
— — Orange — Blau — —

Zwei Farben, welche zusammen Grau geben heissen daher auch complementäre.



In beistehender Figur sind die drei Hauptfarben Roth, Gelb, Blau an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks, die durch einen Kreis verbunden sind, die gemischten Farben in der Mitte zwischen den entsprechenden reinen angezeichnet; die complementären Farben, deren Pigmente zusammen Grau, deren prismatische Spectra zusammen Weiss geben, liegen immer entgegengesetzt und sind durch Durchmesser verbunden. Dieselbe Figur giebt auch Auskunft über weitere Farbennüancen, welche zusammen Grau, oder nach der Intensität Weiss geben würden. Wenn man nämlich im ganzen Kreise alle Uebergänge der Farben, zwischen den sechs verzeichneten sich vorgestellt denkt, so liegen die complementären Far-

ben immer regelmässig einander gegenüber, so dass z. B. die Mitteltinte zwischen Orange und Roth complementär ist zur Mitteltinte zwischen Grün und Blau. Auch wenn man Kreisscheiben, die in drei gleiche Felder getheilt, auf jedem Felde mit einer der Hauptfarben bezeichnet sind, so schnell sich drehen lässt, dass die Bilder der Farben schneller ihren Ort auf der Nervenhaut des Auges wechseln, als die vorhergehenden Eindrücke verschwunden sind, so sieht man statt der Farben Grau. Desgleichen wird auf der sich drehenden Scheibe Grau gesehen, wenn bloss zwei complementäre Farben, in einem bestimmten Verhältniss ($\frac{2}{3}$ gemischte, $\frac{1}{3}$ reine Farbe), auf der Scheibe vertheilt sind. Wiegt aber eine der Farben zu stark vor, so tritt diese auch herrschend im Grauem hervor und das Graue ist nicht mehr rein. Zwei reine, ungemischte Farben allein, ausser den complementären, geben bei der Mischung niemals Grau, sondern bloss Uebergänge der Farben in einander oder Mischungen, z. B. Grün aus Blau und Gelb, Violet aus Blau und Roth, Orange aus Roth und Gelb. Dahin gehören in der beistehenden Figur überhaupt alle Farben, die nebeneinander stehen.

Man hat diese Thatsachen als einen Beweis gegen die Richtigkeit der Newton'schen Farbenlehre angesehen, nach welcher alle Hauptfarben zusammen, und also auch die complementären Weiss, nicht aber Grau geben müssten. Der Erfolg kann indess bei der Richtigkeit der Newton'schen Theorie kaum ein anderer seyn. Denn die Pigmente sind zu trüb und absorbiren zu viel Licht um nicht, statt des Weissen, vielmehr Grau bei der Mischung zu bedingen. Ein farbiger Körper ist nämlich zufolge der Newton'schen Farbenlehre, deswegen von der bestimmten Farbe, weil er von dem weissen Sonnenlichte eine oder mehrere seiner Farben absorbirt und nur eine bestimmte zurückwirft. Der Eindruck mehrerer farbigen Felder, auf einer sich drehenden Kreisscheibe kann nicht weiss seyn, weil eine weisse Scheibe an ihrer Stelle alles Licht zurückwirft, während die farbigen Felder nur einen Theil davon zurückwerfen. Daher die Vereinigung der farbigen Eindrücke, auf denselben Stellen der Nervenhaut ein geschwächtes Weiss oder Grau sein muss, welches lichter oder dunkler ist, je nach den Lichten oder Trüben, was den Pigmenten einwohnt.

Bringt man hingegen die lichten Farben des prismatischen Spectrums zur Vereinigung, so erhält man reines Weiss, und eben so wenn man zwei complementäre dioptrische Farben zur Vereinigung bringt, wie v. Grotthuss (Schweigg. *J.* 3. 158.) gezeigt hat.

Es muss zuletzt bemerkt werden, dass die Mittelfarben, die man aus der Vereinigung zweier prismatischen Farben erhält, sich durch das Prisma wieder in ihre Urfarben zerlegen lassen, während die ursprünglichen Mittelfarben des prismatischen Sonnenbildes, durch das Prisma nicht weiter zerlegt werden können. Diess scheint zu beweisen, dass im Sonnenlichte mehr als drei Urfarben enthalten sind, und dass es in ihm wahrscheinlich unendlich viele an Brechbarkeit verschiedene Strahlen giebt. Dass die ursprünglichen und durch Mischung entstandenen Mittelfarben denselben Eindruck, z. B. des Grünen machen, während sie doch in

Beziehung auf ihre Zerlegbarkeit so verschieden sind, lässt sich aus der Geschwindigkeit der Wellen nach der Undulationstheorie erklären, indem die Wellen von der Geschwindigkeit der ursprünglichen grünen Strahlen, denselben Eindruck auf die Nervenhaut machen, als gleichzeitige Wellen von verschiedener Geschwindigkeit der gelben und blauen Strahlen, welche zugleich denselben Theil der Nervenhaut treffen. Die Geschwindigkeit der grünen Strahlen ist selbst eine mittlere, zwischen derjenigen der gelben und blauen Strahlen. Aber die Geschwindigkeit der violeten Strahlen ist grösser, als die Geschwindigkeit der blauen und rothen Strahlen.

Im Uebrigen bleibt sich die Newton'sche Farbenlehre im Wesentlichen ganz gleich, mag man ihr die Emissions- oder die Undulationstheorie zu Grunde legen. Denn die Eindrücke, welche nach der ersten, von qualitativ verschiedenen Strahlen des farbigen Lichtes bedingt werden, hängen in der Undulationstheorie von der Verschiedenheit der Wellen und von der Geschwindigkeit der verschiedenen farbigen Lichter ab, und diese Strahlen erleiden eine ungleiche Brechung durch brechende Medien.

Die Einwürfe gegen die Newton'sche Farbenlehre von Goethe beruhen in der Hauptsache auf Misverständnissen. Goethe (*Farbenlehre*) und Seebeck (Schweigg. *J.* 1. 4.) betrachten die Farbe als entspringend aus dem Weissen und Schwarzen, und legen den Farben selbst ein Dunkles zu, so dass sie sich durch den Grad des Dunkeln (σκιερὸν) unterscheiden, indem sie sich vom Weissen zum Schwarzen, als Gelb, Orange, Roth, Violet, Blau folgen, während Grün wieder in der Mitte zwischen Gelb und Blau zu stehen scheint. Diese Bemerkung ist, obgleich sie keinen wesentlichen Einfluss auf die Newton'sche Farbentheorie hat, allerdings richtig und durch die Untersuchungen von Herschel erfahrungsmässig bestätigt. Der Letztere untersuchte die Intensität des Lichtes von Farbestrahlen, durch welche er Gegenstände unter dem Mikroskope beleuchtete; die Beleuchtung war am stärksten in Gelb und Gelbgrün, schwächer in Orange, noch schwächer in Roth, noch schwächer in Blau und am schwächsten in Violet (man sollte vielmehr seine Stelle zwischen Roth und Blau erwarten). Auch war die Helligkeit von grünen Strahlen schwächer als die von Gelbgrün. Noch ein anderer und sicherer Beweis von dem Unterschiede der Helligkeit der farbigen Strahlen wird von den Blendungserscheinungen im Auge geliefert. Hat man in die Sonne gesehen, und schliesst das Auge bis zur Dunkelheit, so erscheint das Nachbild der Sonne hell oder weiss auf dunkeln Grunde, aber diess Bild geht durch die Farbenreihe durch bis zum Schwarzen, d. h. bis es sich nicht mehr vom dunkeln Grunde absondert, und die Reihe der Farben, die es vom Weissen bis Schwarzen durchläuft, ist eben die der lichtesten bis zur dunkelsten Farbe, Gelb, Orange, Roth, Violet, Blau. Sieht man aber, nachdem man anhaltend in die Sonne gesehen, auf eine weisse Wand, so erscheint das Nachbild oder Blendungsbild der Sonne schwarz auf dem weissen Grunde der Wand, und es geht von den dunkeln Farben zu den hellen, zuletzt in farbloses Weiss

über, worauf es sich nicht mehr von der weissen Wand unterscheidet.

Aber so richtig auch die Bemerkung von Goethe über das verschiedene Dunkle der Farben ist, so wenig lässt sich daraus etwas für seinen Grundsatz, dass die Farbe aus Licht und Dunkel entstehe, schliessen. Das Dunkle ist, wie wir schon bemerkt haben, nichts Positives, es ist blosse Ruhe gewisser Stellen oder der ganzen Nervenhaut. Eine Farbe kann, ohne aus einer Vermischung von Weiss und Schwarz entstehen zu können, mehr oder weniger Reizkraft für die Nervenhaut, also mehr oder weniger Intensität haben, oder dunkel erscheinen, mag dieses von der verschiedenen Geschwindigkeit der Lichtwellen, und der verschiedenen Grösse derselben in den verschiedenen Farben, oder von irgend einer andern Eigenschaft des farbigen Lichtes herrühren.

Die Hauptsätze der Goethe'schen Farbentheorie beruhen auf dem Misverständniss, in welchem sich Goethe in Hinsicht des Dunkeln oder Schwarzen als etwas Positivem befindet. Die Bildung des Grauen, aus der Mischung der complementären Pigmentfarben, statt des Weissen, leiht der Ansicht von Goethe und Seebeck einige Wahrscheinlichkeit, und ich war früher selbst dafür eingenommen; aber theils lässt sich die Entstehung des Grauen, statt des Weissen, aus den Pigmentfarben leicht erklären, theils lässt sich direct zeigen, dass aus Weiss und Schwarz allein nicht Farbe entstehen könne. Eine Mischung von Weiss und Schwarz erzeugt immer nur Grau, nie Farbe, sei es, dass beide Eindrücke, wie auf der gedrehten Scheibe, sehr schnell einander folgen, und das Nachbild der einen und primitive Bild der andern sich decken, oder, dass beide Ursachen zugleich auf dieselben Theile der Nervenhaut wirken, was freilich nichts Andres heisst, als dass die Ursache des Weissen gemässigt ist, woraus Grau wird.

Die Farbenphänome, welche sich bei der Betrachtung farbloser, heller Gegenstände durch trübe halbdurchscheinende Körper zeigen, schienen der Goethe'schen Ansicht am Meisten zu Gute zu kommen, lassen sich jedoch leicht anderweitig aus bekannten Thatsachen, und aus den Grundsätzen der Newton'schen Farbenlehre selbst ableiten. Eine ausführliche Beantwortung, der von dieser Seite hergenommenen Einwürfe, findet sich in dem von Brandes bearbeiteten Artikel Farbe in Gehler's *physikal. Wörterb.*

Die trüben Mittel lassen, wie Goethe sagt, das weisse Licht indem sie es mässigen, gelb oder gar gelbroth erscheinen, so wie weisses Glas, und die dunstreiche Luft bei der Abendröthe. Mit Recht wird diese Erscheinung, welche nicht bei jedem trüben Mittel vorkömmt, von der Fähigkeit des bläulich weissen Glases abgeleitet, die gelben und rothen Strahlen, mehr als die blauen des weissen Lichtes durchzulassen. Mehrere trübe Mittel zeigen die erwähnte Erscheinung nicht, wie Brandes bemerkt. Z. B. feuchte Nebel, welche sowohl das reflectirte Licht, als das durchgehende weiss erscheinen lassen, indem sie eben alle Farben des Lichtes durchgehen lassen, und alle Farben zugleich reflectiren.

Die von den prismatischen Erscheinungen hergenommenen Ein-

würfe von Goethe, gegen die Newton'sche Farbenlehre, zeigen sich als ungegründet. Goethe hebt als eine nothwendige Bedingung des prismatischen Farbenbildes hervor, dass das Bild begrenzt sei, dass ein Helles an ein Dunkles grenze, nur an dieser Grenze erscheine die Farbe. Weil zur Erzeugung der Farbe überhaupt Hell und Dunkel zugleich nöthig sei. Daher erscheine das Unbegrenzte, die weisse Wand, durch das Prisma gesehen, nicht gefärbt, sondern weiss. Dass sie weiss erscheint, ist indess eben eine Consequenz der Newton'schen Theorie, denn da von allen Puncten der weissen Wand weisse, d. h. blaue, rothe, gelbe Strahlen zugleich reflectirt werden, so wird jeder Theil der Nervenhaut, auch von allen farbigen Strahlen zugleich, d. h. vom Weiss beleuchtet. Zur Erscheinung der dioptrischen Farben ist allerdings die Grenze von Hell und weniger Hell oder Dunkel, aber auch im Sinne der Newton'schen Farbenlehre nöthig; denn nur diejenigen farbigen Strahlen können als solche gesehen werden, welche nicht mit den andern Farben wieder im Bilde zusammen treffen, und sich an der Grenze des Bildes vermöge ihrer abweichenden Brechbarkeit isoliren. Vergl. Brandes *a. a. O. p.* 69.

Endlich ist die Erklärung der prismatischen Farben, welche Goethe giebt, selbst ungenügend. Nach Goethe's Vorstellung wird an der Grenze eines dunkeln und hellen Bildes, durch die Refraction das dunkle Feld über den hellen Grund, und dieses über jenes bewegt, und hierdurch entstehen an der Grenze die Farbensäume. Indess das Licht kann zwar an der Grenze des Dunkeln, das in Beziehung auf das Auge das Affectlose ist, über die ruhenden Theile des Auges zerstreut werden, aber das Dunkle kann sich nicht über ein Helles ausbreiten, denn dunkel ist physiologisch, worauf doch Alles in diesen Fragen zuletzt zurückkommt, nur derjenige Theil des Auges, wo die Nervenhaut im Zustande der Ruhe empfunden wird. Ueber diesen Mangel der Goethe'schen Ansicht habe ich mich bereits ausführlicher in dem Buche über die *Physiologie des Gesichtssinnes Leipz.* 1826. *p.* 399. 409. ausgesprochen, wo ich die Fehler der Goethe'schen Ansicht zu zeigen suchte, wo es mir aber *), indem ich einige Grundsätze derselben festzuhalten suchte, nicht sie zu verbessern gelang. Goethe's grosse Verdienste um die Farbenlehre betreffen nicht die Hauptfrage von den Ursachen der prismatischen Farben. Es ist hier nicht der Ort seine erfolgreichen Bemühungen in Hinsicht der physiologischen Farben, der moralischen Wirkungen der Farben, und der Geschichte der Farbenlehre auseinanderzusetzen.

2. Natürliche Farben der Körper. Pigmente.

Die natürliche Farbe der nicht selbst leuchtenden Körper

---

*) Der Artikel über die Goethe'sche Farbenlehre ist (die Beobachtungen ausgenommen) ein schwacher Abschnitt dieser Schrift, welche in mehreren wichtigeren Abhandlungen die Resultate ausdauernder Anstrengungen enthält.

rührt zunächst von dem Lichte her, welches ihnen zugeworfen wird, und welches sie wieder zurückwerfen und unserm Auge zuwenden, zum Theil hängt ihre Farbe aber auch von ihrer Affinität zu dem Lichte und den verschiedenen Arten des farbigen Lichtes ab, indem sie alles farbige Licht bald vollständig zurückwerfen, bald vollständig und unter Erscheinung der Erwärmung absorbiren, bald theilweise zurückwerfen und theilweise absorbiren, bald alles Licht ganz hindurchlassen, bald gewisse Strahlen hindurchlassen, andere absorbiren. Ein weisser Körper ist ein solcher, der alle Arten des farbigen Lichtes zugleich zurückwirft, ein schwarzer derjenige, welcher alle Arten des Lichtes in sich aufnimmt und keines reflectirt, ein farbiger aber derjenige, der gewisse farbige Strahlen des weissen Lichtes absorbirt oder durchlässt, andere aber zurückwirft. Ein durchsichtiger, ungefärbter Körper lässt alle Arten Strahlen und also farblos durch sich hindurchgehen, indem er nur einen sehr geringen Theil von allen Arten Strahlen farblos reflectirt. Ein durchsichtiger, gefärbter Körper absorbirt gewisse Strahlen des Lichtes, und lässt den farbigen Rest durch sich hindurchgehen. Dass die Farbe der undurchsichtigen Körper davon abhängt, dass sie gewisse Strahlen des Lichtes absorbiren oder durchlassen, andere aber zurückwerfen, lässt sich erfahrungsmässig beweisen.

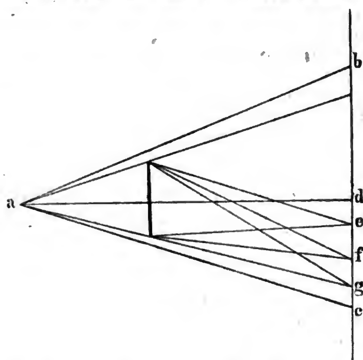
Werden farbige Körper, welche sonst die Strahlen *a* reflectiren, von einem anderen durchaus homogenen farbigen Lichte beleuchtet, so sind sie nicht im Stande das letztere, welches sie absorbiren, zu reflectiren und erscheinen daher ganz farblos. Ein homogenes gelbes Licht giebt, wie Brandes bemerkt, ein mit Kochsalz abgeriebener und auf der Weingeistlampe brennender Docht. In diesem Lichte erscheinen alle farbigen Gegenstände mit Ausnahme der gelben farblos. Das meiste farbige Licht ist indess nicht homogen und enthält, ausser dem überwiegenden farbigen Licht einer Art, auch weisses Licht. Durchsichtige farbige Körper zeigen entweder eine andere Farbe bei reflectirtem, als bei durchfallendem Lichte, oder zeigen bei reflectirtem und durchfallendem Lichte dieselbe Farbe. Dieselbe Wolke kann bläulich von reflectirtem, gelb oder orangefarben bei durchfallendem Lichte erscheinen. Im ersten Falle lässt sie die gelbrothen Strahlen durch, welche wir nicht sehen, und sendet die reflectirten bläulichen zu unserm Auge; im zweiten Fall sehen wir die durchfallenden gelbrothen Strahlen, nicht aber die reflectirten blauen. Brandes erklärt auf diese Weise das bald bläuliche, bald gelbrothe Ansehen der Atmosphäre. Die heitere Luft erscheint am Abend gegen Osten bläulich, wo sie das blaue Licht zu uns reflectirt, das gelbrothe durchlässt, was daher von uns nicht gesehen wird, sie erscheint gelbroth im Westen, von wo sie das gelbrothe Licht zu uns durchlässt, während sie das blaue Licht reflectirt. So erscheint auch bläuliches Milchglas gegen das Licht feuerroth. Andere durchsichtige Körper erscheinen bei reflectirtem und durchgehendem Licht gleichgefärbt; sie reflectiren einen Theil eines farbigen Lichtes *a*, während sie einen andern Theil von *a* durchlassen, dabei absorbiren sie die übrigen farbigen

Strahlen *b*, *c* vollständig. Siehe das Nähere bei Brandes *a. a. O. p.* 115.

3. Farben durch Interferenz der Lichtstrahlen.

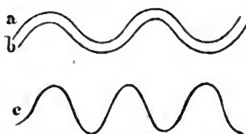
Die Newton'sche Farbentheorie wird nicht verändert durch die Farbenerscheinungen, welche zunächst aus dem von Th. Young entdeckten Princip der Interferenz der Lichtstrahlen, oder der Einwirkung der Lichtwellen auf einander zu erklären sind. Da viele bisher schwer zu erklärende Farbenerscheinungen diesem Gesetze ihren Ursprung verdanken, so muss hier zur Vollständigkeit der Lehre von den physischen Farben, das Nöthigste über die Interferenz und die Farben durch Interferenz beigebracht werden.

Die von Th. Young entdeckte Eigenschaft der Lichtstrahlen gegenseitig auf einander einzuwirken, besteht darin, dass zwei Lichtstrahlen, die von einem Puncte ausgehend, auf wenig verschiedenen Wegen und unter einem sehr kleinen Winkel ihrer Convergenz in einem Puncte ankommen, unter gewissen Bedingungen die Intensität der Beleuchtung verstärken, unter andern Bedingungen die Beleuchtung gänzlich aufheben. Diese gegenseitige Einwirkung der Lichtstrahlen heisst Interferenz. In einen finstern Raum falle der von einem Puncte *a* ausgehende Lichtkegel *a*, *b*, *c*. In einiger Entfernung von der Spitze des Lichtkegels befinde sich ein schmaler Streifen von Pappe oder Holz (in der Figur sehr breit gezeichnet um die Abbildung deutlicher zu machen). *bc* sei eine den Schatten aufnehmende Wand, ist nun das von *a* ausgehende Licht einfarbig, z. B. das rothe prismatische Licht, so zeigt sich statt des



einfachen Schattens auf der Wand *bc* vielmehr eine Reihe von abwechselnden farbigen und dunkeln Linien, wovon die farbigen mit der Farbe des Lichtkegels übereinstimmen. Wird die auffangende Wand *bc* dem Körper sehr genähert, so wird der Schatten rein und scharf und ohne Linien, wird er davon entfernt, so entwickeln sich mehr und mehr die genannten Linien. Der mittelste Streifen bei *d* ist farbig. Die Erscheinung der hellen und dunkeln Linien hört auf, sobald man das Licht an dem einem Rande des Kartenblattes auffängt, so dass es auf dieser Seite nicht bis zur Fläche *bc* gelangt. Diess beweist, dass die Erscheinung nicht von der Beugung des Lichtes an den Rändern, sondern von der gegenseitigen Einwirkung der an den entgegen-

gesetzten Rändern vorbeigehenden Strahlen abhängig ist. Dass diese Strahlen aber sich hinter dem Kartenblatte begegnen werden, folgt aus den Gesetzen der Beugung, Inflexion, welchen das Licht unterworfen ist, wenn es dicht am Rand von Körpern vorbeigeht. Nämlich die am Rande des Kartenblatts vorbeigehenden Lichtstrahlen werden von diesem Rande von der Richtung *ab* nach *g*, *f*, *e*, *d* inflectirt. Diese Inflexion ist am stärksten für diejenigen Strahlen, welche dem Rande am nächsten sind, und nimmt ab, je entfernter die dicht am Rande vorbeigehenden Strahlen dem Rande sind, bis in einer gewissen Entfernung die Strahlen *ab* ihre Richtung behalten. Durch Beugung des Lichtes an den Rändern des Kartenblatts treffen also Strahlen, die von dem Puncte *a* ausgegangen, wieder zusammen. Diese Strahlen sind für die Mitte des Schattens gleich lang, ungleich lang für alle übrigen Stellen des Schattens, z. B. die in dem Puncte *e*, in *f*, in *g* zusammenkommenden Strahlen. Da nun das Bild der inflectirten rothen, von *a* ausgehenden Strahlen dunkle Linien zeigt, die mit rothen Linien abwechseln, so folgt, dass gewisse an den entgegengesetzten Rändern des Kartenblatts inflectirte Strahlen des rothen Lichtes, durch das Zusammentreffen in Puncten der Wand sich völlig aufgehoben haben, und diese Stellen erscheinen eben dunkel, während andere Strahlen des rothen Lichtes sich nicht zerstört haben und die rothe Farbe erscheinen lassen. Die Erscheinung kann auch so gezeigt werden, dass man nach Fresnel, die von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen, durch zwei gegeneinander gestellte Spiegel zur Interferenz bringt, so dass die Reflexion hier ersetzt, was in dem beschriebenen Versuch die Beugung thut. Die Erklärung dieser Erscheinung folgt mit Leichtigkeit aus der Undulationstheorie. In dem Puncte *d* wird das rothe Licht nicht aufgehoben, hier coincidiren gleich lange Strahlen von rothem Lichte, welche eine gleiche Zahl von Wellen *a* bis *d* zurückgelegt haben; die Strahlen, welche in *e*, *f*, *g*, zusammenkommen, haben ungleiche Längen und haben bis zu ihrem Zusammentreffen eine ungleiche Zahl von Wellen des rothen Lichtes zurückgelegt. Alle solche interferirenden Strahlen von ungleicher Länge heben sich entweder auf, oder verstärken sich. Die Differenz der Länge der in *e* zusammenkommenden Strahlen kann kleiner oder grösser seyn, als die Breite einer Welle des rothen Lichtes, die aus einem verdichteten und verdünnten Theile besteht. Hat der eine Strahl bis *e* eine ganze Welle mehr gemacht als der andere bis *e*, so stören sich, nach den für alle Wellenbewegung geltenden Gesetzen, beiderlei Wellen nicht, denn der verdichtete Theil der Welle des einen Strahls, fällt bei *e* auf den verdichteten Theil der Welle des andern Strahls, der verdünnte Theil der Welle des einen Strahls, auf den verdünnten Theil der Welle des andern Strahls, oder der Wellenberg des einen auf den Wellenberg des andern, das Wellenthal des einen auf das Wellenthal des andern, wie in folgender Figur. Daraus kann nur eine Verstärkung des von der Wand reflectirten Strahles hervorgehen, indem die Wellenberge und Wellenthäler sich verstärken. Dasselbe wird geschehen, wenn die



Unterschiede der Zahlen beider Wellen, 3, 4, 5, 6 ganze Wellen betragen. Denn in diesem Falle werden die Wellenberge immer mit den Wellenbergen, die Wellenthäler mit den Wellenthälern coincidiren. Hat hingegen der eine der in einem Punct zusammenkommenden Strahlen nur die Hälfte einer ganzen Welle mehr zurückgelegt, als der andere Strahl, so fällt die verdünnte Hälfte einer Welle, oder das Wellenthal des einen Strahls in die verdichtete Hälfte der Welle oder den Wellenberg des andern Strahls, wie in beistehender Figur versinnlicht ist; die Verdünnung der einen und die Verdichtung der andern Welle heben sich gegenseitig auf, dann wird diese Stelle dunkel erscheinen. Sind die Unterschiede der Zahl der Wellen beider Strahlen kleiner als eine ganze Welle, aber grösser als eine halbe Welle, oder grösser als eine ganze Welle, aber kleiner als zwei Wellen, so werden sich die Bewegungen von beiderlei Strahlen mehr oder weniger stören. Man sieht leicht ein, wie diese Erscheinungen die Gelegenheit an die Hand geben mussten, die Breite der Lichtwellen für die verschiedenen Farben durch Berechnung zu finden. Die dunkeln und hellen Linien haben übrigens bei verschiedenem farbigem Lichte, mit dem der Versuch angestellt wird, eine verschiedene Lage.

In dem vorher erläuterten Falle waren die zur Interferenz gebrachten Lichtstrahlen homogenes farbiges Licht, das von einem Puncte ausging. Bei Anwendung des weissen Lichtes, zum Versuch, kommen die eigentlichen Farbenphänomene zum Vorschein, um welche es sich für unsern Zweck handelt. Man sieht nämlich, statt der abwechselnd homogenen farbigen und dunkeln, dann Streifen, die mit den lebhaftesten homogenen Farben prangen. Die Erklärung folgt aus derjenigen des vorhergehenden Versuchs. Da die Wellen, von jeder im weissen Licht enthaltenen Farbe, ungleich breit sind, so wird jede der Hauptfarben des weissen Lichtes ihre eigenen, verschieden gelegenen hellen und dunkeln Streifen haben, wie es im vorhergehenden Versuch von einer Farbe erläutert wurde.

Aus der Erklärung der Farben durch Interferenz lassen sich am leichtesten die Farben ableiten, die man in dünnen Plättchen von Körpern mit sehr feinblättriger Structur, und an sehr fein gefurchten Oberflächen wahrnimmt. Es ist eine bekannte Erscheinung, dass die vordere oder die hintere Fläche eines durchsichtigen Körpers Licht reflectirt. Ein senkrecht auf ein dünnes durchscheinendes Blättchen geworfener Strahl wird zum Theil von der vordern, zum Theil von der hintern Fläche reflectirt, der letzte und der erste Theil des Strahls fallen bei der Reflexion in eins zusammen, und müssen, wenn der Unterschied ihres Weges klein genug war, ein Interferenzphänomen erzeugen. Dasselbe gilt von schief auffallenden Strahlen. Denn mit dem von der vor-

dern Fläche reflectirten Strahl, wird der von der hintern Fläche reflectirte Antheil irgend eines andern Strahls wieder zusammentreffen und interferiren. Auf ähnliche Weise erklärt man die Farbenphänomene, die man auf Flächen bemerkt, die sehr fein gefurcht sind. Hieher gehören also die irisirenden Farben der Glimmerplättchen, des blätterigen Glases, der Seifenblasen, der Perlmutter u. s. w.

Am Schlusse dieser Bemerkungen werden hier noch die Längen und Geschwindigkeiten der Lichtwellen für die verschiedenen Farben angeführt, wie sie HERSCHEL aus Interferenzphänomenen berechnet hat.

Länge der Wellen in Milliontheilen Engl. Zoll.		Anzahl der Wellen in 1 Zoll.	Anzahl der Billion von Schwing. in 1 Sek.
Grenze des roth	26,6	37640	458
Grenze des roth und orange	24,6	40720	495
Grenze des orange und gelb . . .	23,5	42510	517
Grenze des gelb und grün . . .	21,9	45600	555
Grenze des grün und blau . . .	20,3	49320	600
Grenze des blau und indig . . .	18,9	52910	644
Grenze des indig und violet . . .	18,1	55240	672
Grenze des äussersten violet . . .	16,7	59750	727

Ueber Interferenz siehe WEBER *Wellenlehre*, BRANDES *in* GEHLER's *physikal. Wörterb.* über die Undulationstheorie ebendaselbst den Artikel Licht.

II. Capitel. Vom Auge als optischem Werkzeuge.

I. Optischer Bau der Augen.

In Hinsicht des Baues der Augen für den Zweck der Lichtempfindung im Allgemeinen, und des Sehens insbesondere kann man drei Hauptformen unterscheiden: 1) Die einfachsten Augen oder Augenpunkte der Würmer und der niedersten Thiere, von welchen es zweifelhaft ist, ob sie mehr als allgemeine Lichtempfindung durch ihre Augen haben, d. h. Tag und Nacht, helle und dunkle Orte, wo sie sich aufhalten, unterscheiden. 2) Die musivisch zusammengesetzten, mit durchsichtigen lichtsondernden Medien versehenen Augen der Insecten und Crustaceen. 3) Die Augen mit collectiven, das Licht sammelnden durchsichtigen Medien.

A. Einfachste Augen oder Augenpuncte der Würmer und anderer niederer Thiere.

Von den Augen der Insecten, Crustaceen, Mollusken lässt sich deutlich nachweisen, dass sie die nöthigen durchsichtigen Apparate zum Sondern des von verschiedenen Stellen der Objecte kommen-

den Lichtes besitzen. Es fragt sich, ob diess auch von den sogenannten Augenpuncten der Würmer und anderer niederer Thiere gelten könne, oder ob diesen Augen die optischen Werkzeuge mangeln, und ob solche Augen nicht vielmehr bloss das Helle und Dunkle im Allgemeinen, Tag und Nacht unterscheiden können. Ueber das Vorkommen dieser Augenpuncte siehe oben p. 281. Hirudo medicinalis hat zehn Augen, die in einem Halbzirkel an der vordern Fläche des Kopftheils über dem Munde stehen. Sie sind nach Weber über die Oberfläche wie eine Warze erhaben, und verlängern sich wie Cylinder in das Innere des Thiers. Das Ende der Augen ist von einer convexen, sehr durchsichtigen Membran bedeckt, unter welcher am Ende jedes Auges sich eine schwarze Platte befindet, der untere Theil der Cylinder ist schwarz. Pupille und durchsichtige Theile sind nicht bemerkt worden. Diese Theile erkennt man auch an den halbmondförmigen Augen mehrerer Planarien nicht. Ich untersuchte den Bau der Augenpuncte bei den Nereiden. Bei der Gattung Nereis Aud. et Edw. finden sich vier schwarze Augenpuncte auf der Oberfläche des Kopfes im Viereck gestellt. Sie sind nicht erhaben und vielmehr einfach von der Epidermis des Kopfes bedeckt. Die Augen sind hinten rund, nach der Lichtseite platt, und bestehen aus einer becherförmigen, hohlen, schwarzen Membran, und einem runden weissen undurchsichtigen Körper, welcher darin enthalten ist, und sich in den Sehnerven verlängert. Die vier Sehnerven der vier Augen senken sich jeder besonders in die obere Fläche des Gehirns ein. Bei diesem Thiere hat man es also mit Augen ohne durchsichtige optische Werkzeuge zu thun. Die in der Choroidea enthaltene Anschwellung ist dem Lichte zugänglich, da an der Lichtseite die Choroidea fehlt, und cirkelförmig ausgeschnitten ist. Aber diese Anschwellung scheint nur das papillenförmige Ende des Sehnerven zu seyn; denn sie war undurchsichtig, von demselben Aussehen als der Sehnerve, in welchen sie sich deutlich fortsetzte, und feinkörnig. Allerdings war die Nereide vorher in Weingeist aufbewahrt worden, aber die durchsichtigen Organe in den Augen der Insecten, Spinnen, Schnecken behalten ihre helle Durchsichtigkeit an in Weingeist aufbewahrten Thieren. J. Mueller *ann. d. sc. nat. XXII. p.* 19. Rathke (*de Bopyro et Nereide. Rigae* 1837.) hat bei Nereis Dumerilii ebenfalls den pupillenartigen Ausschnitt der Choriodea beobachtet. Derselbe hat aber auch eine zweite Form der Augen aus der Familie der Nereiden, nämlich bei der Gattung Lycoris beschrieben, wo diese Pupille fehlte, und wo die schwärzliche Choroidea vielmehr das ganze Auge umgab. In diesem Falle ist noch weniger an eine Unterscheidung der Formen zu denken, und nur auf eine vage Unterscheidung des Lichten und Dunkeln vermöge des Lichtes, welches den Pigmentüberzug zu durchdringen vermag, zu rechnen. R. Wagner (*Vergl. Anat.* 1. 428.) der selbst an frischen Exemplaren von Nereiden, die papillenförmige Anschwellung des Sehnerven und keine durchsichtigen Organe erkannte, glaubte an Hirudo medicinalis bei jungen eben ausgeschlüpften Thieren, auch durchsichtige Theile, und an dem glockenförmigen, lose mit rothen Pigmentkörnchen überstreu-

ten Glaskörper, vorne einen Abschnitt, wie eine Linse zu sehen. So viel ist indess wohl gewiss, dass bei den Nereiden die eine Abtheilung eine Pupille und keine durchsichtigen innern Organe, die andere nicht einmal eine Pupille hat, und wir sind berechtigt diesen Thieren nur eine ganz allgemeine Unterscheidung des Hellen und Dunkeln zuzuschreiben.

Die Existenz wirklicher Sehorgane bei einer Gattung von Nereiden ohne Pupille, mit gänzlicher Bedeckung des Auges durch Pigment, und die Aehnlichkeit dieser Organe mit den Augen anderer Nereiden, welche eine Pupille haben, macht es wahrscheinlich, dass auch bei anderen niederen Thieren, wo sich schwarze oder tiefgefärbte Augenpuncte, wenn gleich ohne Pupille zeigen, die Beziehung zum Lichtempfinden mit Recht vermuthet wird. Bei den Wirbelthieren kennt man nur ein einziges Beispiel von Augen ohne optische Werkzeuge. Ich fand bei Myxine glutinosa ein kleines Auge nicht bloss unter der Haut, sondern sogar unter den Muskeln, während das Auge des verwandten Bdellostoma an der Oberfläche liegt. Das Auge der Myxine glutinosa enthält keine Linse, sondern nur einen bulbusartigen, das ganze Auge ausfüllenden Körper, welcher mehr einem Bulbus nervi optici, als einem Glaskörper gleicht. Obgleich das Auge von Muskeln bedeckt ist, so kann doch alle Lichtempfindung nicht aufgehoben seyn, da wir sogar durch die Dicke der Finger und ganzer Knochen Licht sehen. Diesen Thieren wird also auch nur eine allgemeine Unterscheidung von Hell und Dunkel, Tag und Nacht zukommen.

B. Musivisch zusammengesetzte Augen der Insecten und Crustaceen.

J. Mueller *zur Physiologie des Gesichtssinnes. Leipz.* 1826. *Ann. d. sc. nat. T. XVII.* 225. 365. *Fortsetzung in* Meck. *Arch.* 1829. 38. 177.

Die zusammengesetzten Augen der Insecten und Krebse sind mehr oder weniger grosse Abschnitte von Kugeln, bei den Insecten unbeweglich, bei den Decapoden, unter den Krebsen, und noch einigen andern auf Säulen beweglich. Auch der Sehnerve dieser Augen schwillt im Innern derselben in eine grosse Kugel oder einen Kugelabschnitt an, von deren Oberfläche sich tausende von Primitivfasern des Sehnerven erheben, und wie Radien gegen die Oberfläche des Organes gerichtet sind. Sie erreichen jedoch die durchsichtige Oberhaut oder Hornhaut der Kugel nicht; vielmehr liegen, wie ich durch alle Ordnungen der Insecten und auch bei den Krebsen gezeigt habe, zwischen den Enden der Sehnervenfasern und der Hornhaut durchsichtige Kegel, ebenfalls radial gegen die innere Oberfläche der Hornhaut gestellt, und durch ihre Basen mit der innern Fläche der Hornhaut vereinigt, während die Spitzen der Kegel, die Enden der Sehnervenfasern aufnehmen. Die Länge der Kegel ist in den einzelnen Gattungen sehr verschieden, meist sind sie 5—6 Mal so lang als breit, wie bei den mehrsten Käfern, Schmetterlingen, selten sind sie sehr kurz, so kaum länger als breit unter den Dipteren bei den Fliegen. Bei

den Insecten und eigentlichen Krebsen im engern Sinne (Decapoden) ist auch die Hornhaut musivisch abgetheilt, und jede kleine Abtheilung, Facette, entspricht einem durchsichtigen Kegel, mit welchem sie verbunden ist und einer Sehnervenfaser, die wieder den Kegel aufnimmt. Die Facetten der Hornhaut sind bei den Insecten sechseckig, bei den Krebsen selten, wo sie sich meist der viereckigen Form nähern, obgleich die Theilungen hier nicht durch gerade Linien geschehen können, sondern auf der convexen Oberfläche des Auges auch durch Curven bewirkt werden müssen. Die Facetten sind selten auswendig und inwendig etwas erhaben oder linsenförmig, wie bei den Schmetterlingen, meist vielmehr ziemlich eben, und sogar bedeutend dick, wie bei den Orthopteren und Käfern. Bei der Aehnlichkeit ihrer hintern und vordern Fläche kann man von der Wirkung derselben auf das Licht im Allgemeinen wenig erwarten, wie sie denn auch bei einer grossen Zahl der Crustaceen, namentlich bei den Entomostraca nach meinen Beobachtungen gänzlich fehlen, während doch die durchsichtigen Kegel hier ebenso gut vorhanden sind. In diesem Fall ist die Oberfläche der Hornhaut, sowohl inwendig als auswendig, vollkommen glatt, und nur in diesem Falle sind auch die Basen der Kegel, welche sonst mit den Facetten der Hornhaut verbunden sind, abgerundet. Zwischen den durchsichtigen Kegeln und selbst zwischen den Fasern des Sehnerven liegt Pigment, bald dunkler, bald heller, schwärzlich, violetschwarz, blauschwarz, purpurroth, braun, braungelb, hellgelb, grün u. s. w. Zuweilen liegen selbst mehrere Schichten von verschiedenen Farben übereinander. Zwischen den Kegeln steigt das Pigment bis zur Hornhaut herauf, und bedeckt selbst in einigen Fällen die vordere Fläche oder Basis der Kegel bis auf eine mittlere, jedem Kegel eigene Pupille; die besonders dann deutlicher ist, wenn die Kegel sehr kurz sind, wie bei den Dipteren. In anderen Fällen sind die Basen der Kegel von Pigment ganz frei, und letzteres erreicht bloss die Theilungsstellen der Facetten. In den Augen der niederen Crustaceen, deren Hornhaut facettenlos sind, stecken die kegelförmigen, durchsichtigen Körper mit ihren Spitzen, und dem grössten Theile ihrer Länge im Pigmente, während ihre runden Enden daraus hervorsehen, und der innern Fläche der vollkommen glatten Hornhaut zugewandt sind. Die Zahl der Facetten und Kegel ist übrigens sehr verschieden, meist sehr gross, mehrere Tausende, in einem Auge bis zwölf und zwanzig Tausend; selten sind sie wenig zahlreich, wie bei einigen Entomostraca. Die Verbindung der Sehnervenfasern mit den Kegeln ist noch näher von R. Wagner untersucht. Bei den Insecten setzt sich die Faser scheidenförmig über die Seiten der Kegel fort, da die Nervenfasern bei den höheren Thieren aus Röhre und Inhalt bestehen, so kann man vermuthen, dass die Röhre vorzugsweise diese Scheide bilde. Siehe über diesen Gegenstand Wieg. *Arch.* 1835. *I.* 372. und Muell. *Arch.* 1836. 613.

Es wurde schon erwähnt, dass die Augen vieler Crustaceen nach meinen Beobachtungen ohne Facetten der Hornhaut, und dass die Basen ihrer Kegel abgerundet sind. Ich stellte daher

schon vor längerer Zeit zwei Hauptmodificationen der zusammengesetzten Augen auf. MECK. *Archiv* 1829. Es giebt aber noch eine dritte Modification im Bau der zusammengesetzten Augen, welche von EDWARDS, BURMEISTER und mir selbst bei mehreren Crustaceen bemerkt wurde. Diess ist diejenige, wo ausser den kegelförmigen Körpern, auch noch linsenförmige zwischen der Hornhaut und den Kegeln vorkommen. Die Linsen müssen die Lichtstrahlen, welche auf sie einfallen, sammeln und den Achsen der Kegel zuwerfen.

EDWARDS beobachtete diess bei Callianassa, bei vielen Brachiuren, namentlich bei Cancer maculatus, ferner bei Amphitoe und mehreren Edriophthalmen. *Hist. nat. d. crustacées. I. Paris* 1834. *p.* 116. Bei Hyperia sah ich bei Herrn EDWARDS und mit demselben in den Facetten der Hornhaut kleinere Linsen. Branchiopus paludosus hat nach BURMEISTER's Beobachtungen auch Linsen mit grösserer Längsachse hinter den Facetten der Hornhaut und vor den Kegeln. MUELL. *Arch.* 1835. 529. *vergl.* 1836. *CII.* Einige von diesen Thieren, wie Amphitoe und mehrere Edriophthalmen, Hyperia und Branchiopus haben zwei Hornhäute. Die äussere ist glatt, die innere facettirt oder gefenstert, so dass hinter den Fenstern die Linsen liegen, wie bei Branchiopus.

Man kann darnach folgende Modificationen der zusammengesetzten Augen aufstellen.

1) Zusammengesetzte Augen mit facettirter Hornhaut und durchsichtigen Kegeln ohne Linsen. Insecten und die meisten Decapoden unter den Krebsen.

a) mit einfachen Hornhautfacetten.

b) mit stark linsenförmigen Hervorragungen an der innern Fläche der Facetten, Meloe.

2) Zusammengesetzte Augen mit facettenloser glatter Hornhaut.

a) mit kegelförmigen, an ihrer Basis abgerundeten, durchsichtigen Körpern ohne Linsen. Beobachtet bei Daphnia, Apus, Gammarus, Cyamus u. A.

b) Basen der Kegel an die Hornhaut angewachsen, Limulus.

3) Zusammengesetzte Augen mit Linsen vor den kegelförmigen durchsichtigen Körpern.

a) mit facettirter Hornhaut Callianassa, viele Brachiuren (Cancer maculatus).

b) mit äusserer glatter, innerer facettirter Hornhaut Amphitoe, mehrere Edriophthalmen, Hyperia.

c) mit äusserer glatter, innerer gefensterter Hornhaut Branchiopus.

An die zusammengesetzten Augen mit Linsen und kegelförmigen Glaskörpern schliesst sich die vierte, bereits 1829 von mir aufgestellte Gattung von zusammengesetzten Augen.

4) Aggregate der einfachen Augen, wovon jedes einzelne die wesentlichen Theile der einfachen Augen, nämlich Linse und kugeligen Glaskörper enthält. Mehrere Isopoden, wie Cymothoe und die vielfüssigen Insecten Julus. Diese machen den Uebergang von den Eigenschaften eines musivisch zusammengesetzten Auges ohne collective Linsen zu einem Sehorgan mit collectiver Linse.

C. Einfache Augen der Insecten, Spinnen, Crustaceen und Mollusken mit collectiven dioptrischen Medien.

(J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes* 315. *Ann. d. sc. nat. XVII* 232. *und Ann. d. sc. nat. XXII.* Meckel's *Archiv* 1829. 38. 208.)

a. Einfache linsenhaltige Augen.

1. *Spinnen.* Die Augen der Spinnen sind nach dem Princip der Augen des Menschen und der Wirbelthiere gebaut. Hinter der Cornea befindet sich eine kugelrunde Linse und hinter dieser ein Glaskörper. Die schwarze Choroidea bildet um die Linse einen schwarzen Ring. Meistens besitzen die Spinnen mehrere von diesen Augen, der Scorpion z. B. hat 2 auf der Oberfläche des Kopfes, und 6 kleinere am vordern Rande des Kopfes, bei Scorpio teter (*mus. entomol. Berol.*) vom Cap und bei Sc. occitanus fand ich sogar 10 Augen am vordern Rande des Kopfes.

2. *Crustaceen.* Bei den Crustaceen sind die Augen mit collectiven dioptrischen Medien oder Linsen selten; wo sie vorkommen, sind sie den musivisch zusammengesetzten Augen als Nebenorgane beigegeben. Man nennt sie hier zur Unterscheidung von den zusammengesetzten Augen, gewöhnlich einfache Augen. So hat Limulus polyphemus ausser den zusammengesetzten Augen 2 einfache.

3. Bei den Insecten erscheinen die einfachen linsenhaltigen Augen entweder allein, oder in Verbindung mit den musivisch zusammengesetzten. Im erstern Falle befinden sich mehrere Aptera, wie die Scolopender, welche 4 Augen auf jeder Seite des Kopfes haben, ferner die Poduren und parasitischen Aptera. Einfache Augen ohne zusammengesetzte haben auch die Larven der Raubkäfer, 2 bei den Cicindelen und Aristen, 12 (6 jederseits) bei den Larven der Wasserkäfer Dytiscus. Die Larven der Hymenopteren sind meist blind, die Bienenlarven haben 2 einfache Augen. Die Larven der Schmetterlinge sind in der Regel mit mehreren einfachen Augen auf jeder Seite versehen. 2—3 einfache Augen mit Linsen neben musivisch zusammengesetzten Augen haben einige Insecten im vollkommenen Zustande, wie die Orthopteren, die Hemipteren, Neuropteren, Hymenopteren, die Abend- und Nachtschmetterlinge. Nach meinen Untersuchungen haben die einfachen Augen dieser Thiere denselben Bau, wie bei den Spinnen. Sie enthalten sicher eine runde Linse dicht hinter der convexen Hornhaut, und vielleicht eine dem Glaskörper zu vergleichende Substanz. Zuweilen sind diese Augen quer länglich, wie eines der Augen der Scolopendra morsitans. und 2 von den im kreisstehenden Augen jeder Kopfseite der Larven von Dytiscus marginalis; in diesem Falle ist auch die Linse in die Quere langgezogen.

Die Bestimmung der einfachen Augen der Insecten ist wahrscheinlich das Sehen nur der nächsten Objecte. Diess lässt sich theils aus ihrem vorzugsweisen Vorkommen bei den Larven und flügellosen Insecten entnehmen, theils folgt es aus mehreren Be-

obachtungen, die ich über die Lage der einfachen Augen angestellt habe. Bei der Gattung Empusa kann das mittlere, untere Auge beim Gehen des Thiers, wegen der Verlängerung des Kopfes nur die allernächsten Dinge sehen. Bei Locusta cornuta liegt eben dasselbe unter der Verlängerung des Kopfes. Ebenso bei der Gattung Truxalis. Bei Gryllus vittatus Fabr. liegt das dritte einfache Auge unten über dem Helm, ebenso bei den meisten Gryllen mit conischem Kopfe, z. B. bei Gryllus serrulatus, G. crenatus. Bei Gryllus lithoxylon Klug liegt das mittlere, einfache Auge ganz in einer Rinne zwischen den Antennen verborgen, so dass der Gesichtskreis desselben sehr nahe und klein seyn muss. Bei Acheta monstrosa stehen die einfachen Augen kaum bemerkbar an den Wurzelstücken der Antennen, fast in der Einlenkung derselben mit dem Kopfe. Wie denn überhaupt bei der gesenkten Stellung des Kopfes, die einfachen Augen der Orthopteren mehr nach abwärts und also gegen den Boden, auf welchem die Thiere laufen, gerichtet werden. Bei den meisten Hymenopteren liegen dagegen die Augen mehr nach hinten, so bei Malaxis, Cimbex, Tenthredo, Leucopsis, Sirex, Ichneumon, Chrysis, Lasius u. A. So viel glaube ich aus Vorhergehendem schliessen zu können, dass die einfachen Augen der Insecten mehr für das myopische Sehen berechnet sind. Zwischen den einfachen Augen und zusammengesetzten besteht ein ähnliches Verhältniss, wie zwischen den Palpen und Antennen. Die Antennen und zusammengesetzten Augen fehlen auch den Larven.

4. *Mollusken.* Aehnlich gebaute Sehwerkzeuge, wie die einfachen Augen der Spinnen und Insecten kommen auch vielen Mollusken zu, namentlich der ganzen Ordnung der Gasteropoden. Sie enthalten auch eine Linse und mehr oder weniger deutliche Spuren des Glaskörpers. Siehe J. Mueller *Ann d. sc. nat. XXII.* Diese Organe erscheinen dem blossen Auge als schwarze Puncte, sie stehen entweder an der Extremität der Fühlhörner, oder in der Mitte derselben nach aussen auf einem Absatze, oder an der Basis derselben. Bei Helix stehen sie am Ende der grossen Fühlhörner etwas zur Seite. Sie sind im Allgemeinen wie das Auge der höheren Thiere gebaut, haben eine becherförmige Choroidea, welche vorn einen Gürtel bildet, eine Linse und einen Glaskörper, wie schon Swammerdam wusste. Murex Tritonis besitzt wenigstens in seinem Auge den einen der brechenden Körper, einen grossen rundlichen, durchsichtigen Körper. Der Sehnerve der Schnecken wurde früher miskannt, man hatte dafür den grossen Nerven des Fühlhorns genommen, aber dieser Nerve ist der Gefühlsnerve des Tentakels; der Sehnerve ist sehr viel feiner, erscheint als Ast desselben, lässt sich aber rückwärts gegen das Gehirn isoliren. Das Gesichtsorgan der Schnecken scheint nur auf die grösste Nähe berechnet zu seyn. Denn Helix pomatia weicht keinem vorgehaltenen Gegenstande aus, wenn er nicht bis auf zwei bis 3 Linien dem Fühlhorn genähert wird.

Die Augen der Cephalopoden unter den Mollusken enthalten alle wesentlichen Theile des Sehorganes der höheren Thiere, selbst Iris und Corpus ciliare.

b. Aggregate der einfachen Augen.

So kann man die Sehorgane einiger Thiere nennen, welche aus der Aggregation einer grössern Anzahl von einfachen Augen zu einer Masse entstehen, in welchen aber jedes einzelne Auge die Structur der einfachen Augen der Spinnen und Mollusken hat, oder nach dem Princip der Augen der höheren Thiere gebildet ist. Ich fand solche Augen bei einigen Insecten und Crustaceen; unter den Insecten kommen sie bei den Julus vor, unter den Crustaceen bei einigen Asseln, z. B. Cymothoa. Man sieht bei diesen Thieren auf der Oberfläche des Auges eine Anzahl Convexitäten, welche den einzelnen Augen entsprechen. Gegen 40 Augen können zu einem solchen Aggregate vereinigt seyn. Hinter jeder convexen Cornea findet sich eine rundliche Linse, und hinter dieser ein rundlicher Glaskörper, welcher von der Retina und Choroidea umgeben ist. Die Aggregate der einfachen Augen bilden den Uebergang zu derjenigen Art der musivisch zusammengesetzten Augen, welche Linsen neben kegelförmigen Körpern enthalten.

D. Auge des Menschen und der Wirbelthiere.

Es ist hier nicht der Ort, von der Structur der einzelnen Theile des Auges zu handeln, und in die allgemeine Anatomie des Auges einzugehen. Was hier mitgetheilt wird, betrifft nur die hauptsächlichsten, für die Optik selbst wichtigsten Structurverhältnisse des Auges und die wesentlichtsen Unterschiede, welche das Auge in den verschiedenen Thierclassen darbietet.

Umgebungen des Auges. Augenlieder. Die Augenlieder fehlen entweder ganz, und es geht die Haut einfach über das Auge weg, wie bei manchen Fischen und mehreren nackten Amphibien, z. B. den Proteideen und der Pipa, oder die Haut bildet Augenlieder, die entweder einfach oder doppelt sind, oder gar zu einem cirkelförmigen Gürtel mit centraler Oeffnung sich verbinden, wie beim Chamaeleon. Zu den gewöhnlichen Augenliedern gesellt sich bei mehreren Thieren die Membrana nictitans, Nickhaut, die schon bei Säugethieren spurweise angedeutet, bei den Vögeln und beschuppten Amphibien in grösster Entwicklung erscheint, und unter den Fischen in geringerer Ausbildung wieder bei mehreren Haifischen auftritt. Bei den Vögeln kann die durchscheinende Haut von der innern Seite des Auges über den vordern Umfang, vermöge eines eigenthümlichen vom Nervus abducens abhängigen Muskelapparates, herübergezogen werden. Unter den Haifischen kömmt sie den Gattungen Carcharias und Galeus und mehreren anderen verwandten zu, fehlt dagegen bei den Gattungen Scyllium, Lamna, Selache, Alopecias, Notidanus, Spinax, Centrina, Scymnus und vielen anderen.

Eine verwandte Bildung ist eine brillenartige, durchsichtige Stelle im untern Augenliede einiger Eidechsen, wie mehrerer Scincoiden, welche über das Auge weggezogen werden kann, und der Cornea entsprechend, das Sehen nicht hindert.

Ganz eigenthümlich ist hinwieder die unbewegliche Capsel vor dem Auge der Schlangen. Bei diesen Thieren werden die Augenlieder durch eine vor dem Auge liegende durchsichtige Capsel ersetzt, welche mit dem Rande rundum an der Haut angewachsen, und eine verdünnte Fortsetzung der Haut ist. Sie besteht aus drei Lamellen; einer äussersten, Fortsetzung der Epidermis, welche daher beim Häuten mit abgeworfen wird, einer mittlern, Fortsetzung der Cutis, und einer innersten, welche der Conjunctiva palpebrarum entspricht, und in die Conjunctiva bulbi oculi sich wie gewöhnlich umschlägt. Zwischen dieser Capsel und dem vordern Umfang des Auges ist ein hohler Raum, in welchen die Thränen gelangen, die durch den Thränengang wie gewöhnlich abfliessen können. Diese Bildung ist von Cloquet zuerst bei den Schlangen entdeckt, sie findet sich selbst bei den Schlangen, deren Augen von dicker Haut bedeckt sind, wie bei den Amphisbaenen u. A., und ich habe sie auch bei einem Säugethiere Spalax typhlus gefunden, dessen Augen von der dicken behaarten Haut bedeckt scheinen, unter welcher jedoch die Conjunctiva ein Säckchen bildet. Unter den Eidechsen, welche sonst Augenlieder haben, zeigen, wie ich gefunden, die Geckonen die merkwürdige Eigenthümlichkeit, dass ihre Augen dieselbe durchsichtige Capsel, wie die Augen der Schlangen besitzen.

Die Thränenwerkzeuge fehlen den Cetaceen unter den Säugethieren, ferner den nackten Amphibien und den Fischen.

Augenhäute. Anlangend das Auge selbst, so zeigt die Sclerotica eine Tendenz zur Verknorpelung und Verknöcherung bei vielen Thieren. Bei den Vögeln, Schildkröten, Eidechsen befindet sich in ihrem vordern Theil um die Cornea her ein Ring, von dachziegelförmig sich deckenden, oder auch nebeneinander liegenden Knochenblättchen, und die Sclerotica der Fische enthält meist zwei grosse Knorpelschalen. Die Choroidea ist bei den Thieren in zwei Blätter, die eigentliche Choroidea und die innere Membrana Ruyschiana trennbar, bei den Fischen ist das äussere Blatt meist silberfarben (argentea), das innere mit dem Pigment bedeckt. Zwischen beiden liegt hinten um die Eintrittsstelle des Sehnerven ein hufeisenförmiger blutreicher Körper, die Glandula choroidalis. Der Orbiculus ciliaris beim Menschen und den Säugethieren fibrös, scheint bei den Vögeln musculös. Die innere Fläche der Choroidea wird bei allen Thieren von der Membrana pigmenti bedeckt, welche aus flachen, oft sechseckigen, die Pigmentkügelchen enthaltenden Zellen zusammengesetzt wird. Bei den Kakerlaken oder Albinos fehlt in den Pigmentzellen das Pigment. Bei mehreren Thieren fehlt es regelmässig an gewissen Stellen des Auges, die entweder weiss oder metallglänzend erscheinen, Tapetum. Das Tapetum der wiederkäuenden Thiere (im hintern äussern Theil des Auges) hat zwar auch die Zellen des Pigmentes, aber das Pigment fehlt darin. Diese metallglänzenden Farben scheinen durch die Structur der Choroidea, vermöge der Interferenz, und nicht durch materielle Farbe erzeugt, und verschwinden daher beim Trocknen. Das ganz weisse Tapetum der reissenden Thiere, welches auf dem Grunde ihres Auges eine dreieckige,

scharf begrenzte Figur bildet, vergeht dagegen beim Trocknen nicht und rührt von einem eigenen Stoffe her. Die Tapeten der Thiere reflectiren schon ein Minimum von Licht, was in das Auge fällt und sind daher die Ursache, dass die Augen jener Thiere (nicht im Dunkeln, aber) bei einem Minimum von Lichtschimmer, der in diese Augen fällt, leuchten. Siehe oben *B. I.* 3. *Aufl. p.* 97.

Das Corpus ciliare kommt bei den Fischen (mit wenigen Ausnahmen) nicht mehr vor. Hier tritt ein sichelförmiger Fortsatz durch eine Spalte der Retina und heftet sich an den Rand der Linse fest, die zugleich durch das Knötchen, die Campanula Halleri in ihrer Lage erhalten wird. Die Iris ist bei den meisten Thieren beweglich, bei den Knochenfischen wenig oder gar nicht. Beim Pferd, Narval, Lama und bei den Rochen hat die Iris am obern Rande der Pupille einen schleierartigen Anhang. Die Pupille ist bald rund, bald querlänglich, wie bei den Wiederkäuern, bald senkrechtlänglich, wie bei den Katzen und beim Crocodil, bald dreieckig, wie bei der Feuerkröte u. A. Den Vögeln ist der Kamm, Pecten s. Marsupium eigen, ein mit Pigment versehener, pyramidaler, gardinenartig gefalteter Fortsatz, der ursprünglich aus der Choroidea entspringend, vom Grunde der Netzhaut ins Innere des Glaskörpers, gegen den Rand der Linse gerichtet ist. Er steht im hintern äussern Theil des Auges und ist allen Vögeln eigen. Die Eidechsen haben eine Spur von Pecten, und vielleicht gehört der Processus falciformis der Fische in dieselbe Reihe.

Die durchsichtigen Theile des Auges. Der faserige Bau der Linse ist schon beschrieben *B. I.* 3. *Aufl. p.* 390. Die Felder in welchen die gezahnten Fasern angelegt sind, sind sehr verschieden in den verschiedenen Classen und Ordnungen. Siehe Brewster *Phil. Transact.* 1836. Chemisch besteht die Linse aus einer eiweissartigen, zugleich etwas eisenhaltigen Substanz. Ihre inneren Schichten sind immer fester als die äusseren, jene sind bei den Fischen von ausserordentlicher fast hornartiger Festigkeit. Bei den im Wasser lebenden Thieren ist die Linse immer convexer, als bei den in der Luft lebenden, bei den Fischen ist sie kugelrund, bei den Sepien sogar länglich in der Richtung der Achse. Dagegen ist die Hornhaut der im Wasser lebenden Thiere viel flacher, als bei den in der Luft lebenden. Diesen Thieren würde eine convexe Hornhaut von keinem Nutzen seyn, indem die wässrige Feuchtigkeit durch Brechkraft sich wenig von dem äussern Wasser, worin die Thiere leben, unterscheidet, während die Brechung durch die Cornea und wässrige Feuchtigkeit bei den in der Luft lebenden Thieren sehr gross ist. Dagegen muss die Brechung bei den im Wasser lebenden Thieren, durch die stärkere Convexität der Linse ersetzt werden. Die Linse der Fische ragt mit der vordern Hälfte durch die Pupille, in die vordere Augenkammer.

Sehnerve und Nervenhaut. Die merkwürdigsten Structurverhältnisse zeigen sich bei den Thieren im Bau dieser Organtheile. Der Sehnerve besteht immer aus Primitivfasern, von ähnlicher Beschaffenheit als die des Gehirns, sie sind sehr fein, viel feiner

als die der anderen Nerven; entweder zeigt nun der ganze Sehnerve eine bloss faserige Structur, wie bei dem Menschen, oder die Fasern ordnen sich an gewissen Stellen, nämlich am Chiasma zu Blättern, so dass sich die Blätter des einen Sehnerven, zwischen den Blättern des andern durchschieben, wie bei den Vögeln und Amphibien; oder endlich ist zuweilen der ganze Sehnerve in seinem Verlaufe vom Gehirn bis zum Auge membranös, wie Malpighi beim Schwertfisch entdeckte, und bei den Fischen allgemein zu seyn scheint. Schneidet man die Scheide des Sehnerven auf, so erscheint der Sehnerve als eine, wie eine Gardine zusammengefaltete Haut mit freien Rändern, und es scheint, dass die Nervenhaut im Auge nur durch die Entfaltung dieser Membran entsteht. Siehe J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes. tab.* 3 *fig.* 19. Damit stimmt dann vollkommen überein, dass die Nervenhaut im Auge der Fische auch noch zwei freie Ränder hat, indem sie vom vordern Rande an bis in den Grund des Auges gespalten ist und klafft.

Dann zieht die Verbindung der Sehnerven nach ihrem Ursprunge die Aufmerksamkeit auf sich. Die Formen, welche sich in dieser Hinsicht unterscheiden lassen sind folgende: 1) Die Bildung der Knochenfische. Hier sind beide Sehnerven nach ihrem Ursprunge durch eine schmale, quere Commissur verbunden; dann gehen sie, ohne ein Chiasma zu bilden, kreuzweise und ohne Vermischung der Fasern über einander weg, der rechte zum linken Auge, der linke zum rechten Auge. 2) Die Bildung der Knorpelfische. Die Kreuzung der Sehnerven, in der Art wie bei den Knochenfischen fehlt, und die Nerven sind durch eine Commissur innig verbunden, ohne dass die innere Structur derselben bekannt wäre; diese Bildung nähert sich sehr dem Chiasma der höheren Thiere an. 3) Chiasma der Amphibien und Vögel. Es gleicht äusserlich dem Chiasma der Säugethiere, aber der innere Bau ist blätterig, und es schieben sich die Blätter des einen Sehnerven, zwischen den Blättern des andern kreuzweise durch, wie die sich kreuzenden Finger beider Hände. Ob alle Fasern hier kreuzen, oder ein Theil derselben auf derselben Seite fortläuft, ist hier noch unbekannt. 4) Chiasma der Säugethiere und des Menschen. Die blätterige Bildung fehlt. Die Fasern beider Sehnerven erleiden im Chiasma eine theilweise Kreuzung, theilweise laufen sie auf derselben Seite fort. Man erkennt diese Bildung bei den Säugethieren noch deutlicher, als bei dem Menschen. Der äussere, obere Theil der Fasern einer Sehnervenwurzel läuft beim Pferde zum Auge derselben Seite fort, die übrigen Fasern kreuzen und begeben sich zum Sehnerven des entgegengesetzten Auges. Siehe *Physiologie des Gesichtssinnes tab.* 2. *fig.* 4. 5.

Der feinere Bau der Nervenhaut ist in der neuesten Zeit durch eine Entdeckung von Treviranus, und durch die übereinstimmenden Beobachtungen von Gottsche erkannt worden. Treviranus *Beiträge zur Aufklärung des organischen Lebens. Bremen.* Gottsche *in* Pfaff's *Mittheilungen aus dem Gebiete der Medicin* 1836. *Heft* 3. 4. Das Wesentliche der Structur der Nervenhaut ist folgendes. Sie besteht aus drei Hauptschichten, einer äussern breiartigen oder pflasterartigen Körnerschicht, ei-

ner mittlern Nervenfaserschicht, und einer innersten Cylinderschicht, welche die Fortsetzung der Faserschicht ist. Der Sehnerve zertheilt sich in Nervencylinder, welche in die mittlere oder Faserschicht ausstrahlen. Jeder Nervencylinder oder jedes aus mehreren Cylindern bestehende Bündel biegt nach Treviranus Entdeckung an einer gewissen Stelle des Verlaufes, von der horizontalen Richtung ab, und wendet sich nach der entgegengesetzten inwendigen Seite der Netzhaut, wo er als Papille endigt. Der Querdurchmesser der Cylinder war beim Igel 0,001 Mill., bei Kaninchen die Papillen 0,0033, bei Vögeln 0,002 — 0,004. Beim Frosch hatten die Cylinder 0,0044, die Papillen 0,0066. Frisch untersucht zeigt die Retina in allen Classen der Wirbelthiere auf ihrer innern Fläche dichtgedrängte Cylinderchen, deren Enden gegen das Innere des Auges sehen. Leicht lösen sich diese Cylinderchen oder stabförmigen Körperchen ab, und schwimmen dann bei mikroskopischer Untersuchung frei auf dem Sehfelde herum. Bei den Fischen sind die stabförmigen Körper mit kleinen Anschwellungen oder Papillen versehen, welche Gottsche genauer beschrieben hat. Die stabförmigen Enden der Nervencylinder, auf der innern Fläche der Retina kann man nur in ganz frischem Zustande untersuchen. Diese Theilchen werden sehr schnell nach dem Tode verändert, und mehrere Stunden nach dem Tode eines Thiers kann man, besonders in der Sommerszeit, nicht viel mehr vom Bau der Retina wiedererkennen, und man sieht dann, statt der stabförmigen Körper, nur eine Körnerschicht, welche bei den früheren Untersuchungen des Baues der Retina oft wahrgenommen werde. So gewiss sich die Schichten der Retina wiedererkennen lassen, und so deutlich die stabförmigen Körper in der innern Schichte sind, welche von Volkmann und E. H. Weber, Gottsche, Ehrenberg und mir wiedergesehen wurden, so ist der eigentliche Zusammenhang der stabförmigen Körper und der Fasern der Faserschicht, und das Wie dieses Zusammenhanges nicht klar. Namentlich fragt es sich, ob die Zahl der stabförmigen Körper durchaus nur der Zahl der Nervenfasern entspricht, und ob wirklich jede Faser einem stabförmigen Körper entspricht, oder ob die stabförmigen Körper reihenweise auf die Fasern der Faserschicht aufgesetzt sind.

II. Erklärung des Sehens aus dem Baue der Augen.

Die Erklärung des Sehens ist verschieden, je nachdem a) das Auge musivisch aus radienartigen, durchsichtigen Körpern oder Kegeln zusammengesetzt ist, deren Wände mit Pigment bekleidet sind, und welche bloss das in der Achse einfallende Licht zu den am Ende der Kegel angefügten Fasern des Sehnerven zulassen, wie bei den Insecten und Crustaceen mit zusammengesetzten Augen, oder b) ob das Auge collective, dioptrische Medien besitzt, Hornhaut (mit oder ohne wässrige Feuchtigkeit), Linse und Glaskörper, wie die einfachen Augen der Insecten, der Spinnen der Mollusken und der Wirbelthiere

A. Vom Sehen der Augen der Insecten und Crustaceen, mit musivisch zusammengesetzten und durch Pigment isolirten, dioptrischen Medien.

(J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes.* 315. *Ann. d. sc. nat. XVII.* 232.)

Der Process des Sehens bei den Insecten und Crustaceen mit zusammengesetzten Augen ist um so interessanter, als er sich ganz von dem Vorgange des Sehens durch ein Auge, wie das menschliche unterscheidet, und uns einen tiefen Blick in die Natur des Sehens überhaupt gewährt. Ich verweise in Hinsicht des Baues dieser Augen, auf das im vorigen Artikel Angegebene.

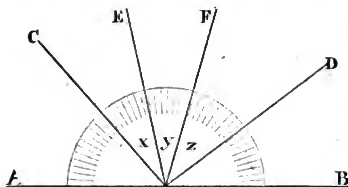
Das Sehen der Insecten war, so lange man die durchsichtigen seitlich von Pigment bekleideten Kegel, zwischen Hornhaut und Sehnervenfasern vernachlässigte, oder die Sehnervenfasern bis zu den Facetten der Hornhaut gehen liess, völlig räthselhaft. Würden die Sehnervenfasern bis zur Hornhaut gehen, so würde jedes vor dem Auge liegende Punct a, b, c, d Licht auf alle Sehnervenfasern zugleich werfen, d. h. a, b, c, d würden nicht unterschieden werden, sondern nur ein gewisser Eindruck aus allen Verschiedenheiten zur Empfindung kommen. Die Kegel lassen hingegen nur das Licht zu ihren entsprechenden Sehnervenfasern, was in ihrer Achse oder radial in Beziehung zum Auge einfällt. Das auf die Wände der Kegel fallende Licht hingegen wird von dunkeln Wänden absorbirt. Auf diese Weise repräsentirt jeder Kegel einen aliquoten Theil des Bildes, und das Bild wird mosaikartig aus so vielen Theilchen zusammengesetzt als Kegel vorhanden sind, daher auch die Deutlichkeit des Bildes mit der Zahl der Kegel zunehmen muss.

Deutlichkeit und Undeutlichkeit des Bildes. Die Deutlichkeit des Bildes, welches sich im Auge der Insecten und Krebse entwirft, hängt von ganz andern Ursachen ab, als bei dem Auge der Thiere mit collectiven oder linsenartigen durchsichtigen Apparaten. Dort ist sie bedingt davon, dass die Nervenhaut sich in der richtigen Vereinigungsweite von der Linse befinde. Hier hingegen hängt sie bloss von der Grösse des Auges und der Zahl der Kegel oder Facetten ab, welche in die Theilung des Bildes eingehen. Für ein Auge, worin 12000 solcher Lichtsonderungsapparate sich befinden, müssen auch 12000 Theilchen des Sehfeldes ohne Vermischung unterschieden werden können. Wo aber nur wenige solcher Organe sind, wird auch jeder Kegel und jede Facette einen viel grösseren Theil des Sehfeldes zum gemischten Eindruck bringen. Denn alle Theilchen eines Bildes, welche ihr Licht zu demselben Kegel und dessen Nervenfaser senden, werden jedesmal nicht von einander unterschieden werden können, sondern nur in einem gemeinsam gemischten Eindruck repräsentirt werden. Ferner muss auch die Länge der Kegel auf die Deutlichkeit des Gesichtes bei den Insecten und Krebsen Einfluss haben. Denn je länger die Kegel sind, um so mehr wird alles seitliche Licht ausgeschlossen und erreicht das Ende der Kegel, wo die Sehner-

venfaser, nicht, und um so mehr gelangt nur das in der Achse des Kegels einfallende Licht zur Nervenfaser.

Sehen in der Nähe und Ferne. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich ein grosser Unterschied der zusammengesetzten Augen und der Augen mit Linsen in Hinsicht des Sehens in der Nähe und Ferne. Die musivisch zusammengesetzten Augen sind gleich gut in die Nähe und Ferne, und bedürfen keiner innern Veränderung für das eine und andere; denn immer wird das als Punct bestimmt gesehen, was sein Licht durch die Achse eines Kegels wirft, mag es nahe oder ferne seyn. Allerdings muss nun die Menge von Einzelheiten, die sich nur als Punct darstellen, zunehmen mit der Entfernung des Gegenstandes, aber hier giebt es keine Zerstreuungskreise, und keine innere Veränderung des Auges zur Verbesserung derselben ist nöthig. Bei den Thieren mit collectiv dioptrischen Medien hängt hingegen die Deutlichkeit des Bildes nicht bloss von der Nähe ab, sondern auch von der richtigen Entfernung der Nervenhaut von der Linse oder von der Vereinigungsweite, und die Vereinigungsweite ist, wie oben erklärt wurde, eine verschiedene, je nach der grössern oder kleinern Entfernung des Gegenstandes vom Auge. Es sind also bei den Augen mit Linsen innere Veränderungen nöthig, wenn sie nicht bloss in einer bestimmten Entfernung deutlich sehen sollen.

Grösse des Sehfeldes. Die Grösse des Sehfeldes der Insecten lässt sich mit der grössten Genauigkeit aus der Form der Augen ableiten. Denn da immer bloss dasjenige gesehen wird, was in der Achse der Kegel oder in den Radien des Auges liegt, so bezeichnen die Achsen der Kegel, welche an den Rändern des Auges stehen, verlängert gedacht, auch genau die Grösse des Sehfeldes eines Insectes oder Crustaceums. Mit andern Worten einen je grössern Theil von einer Kugel das Auge eines Insectes ausmacht, um desto grösser ist das Gesichtsfeld des Thiers, je kleiner der Abschnitt von einer Kugel, um so kleiner das Sehfeld.



Ein Auge von Halbkugelgestalt *AB* repräsentirt auch Alles, was vor ihm liegt von dem Radius *A* bis zum Radius *B*. Ein Auge, welches nur den Kugelabschnitt *CD* darstellt, repräsentirt auch nur, was zwischen den verlängerten Radien *C* und *D* vor ihm liegt, und das Sehfeld ist *EF* für den noch kleinern Kugelabschnitt *EF*. Da nun die Grösse des Kugelabschnittes abnimmt, je flacher ein Auge ist, so kann jener Satz auch so ausgedrückt werden, je flacher das Auge eines Insectes ist, um so kleiner ist sein Gesichtsfeld; je convexer es ist, um so grösser ist sein Gesichtsfeld. Das Auge einer Libelle hat zum Beispiel ein ausserordentlich grosses Gesichtsfeld, denn es beträgt mehr als die Hälfte einer Kugel, es muss vorn und hinten, wie an den Seiten wohl sehen. Damit stimmen auch die Bewegungen dieser Thiere über-

ein, welche sehr rasch, sicher, schweifend, und oft plötzlich seitlich schwenkend sind. Die flachen Augen einiger Wasserwanzen, welche sich kaum über das Niveau des Kopfes erheben, und nur sehr kleine Abschnitte von einer Kugel darstellen, müssen ein enges Sehfeld haben. Bei den Naucoris, Notonecta liegen diese flachen Augen vorn am Kopfe und wir dürfen uns nicht wundern, dass die Bewegungen dieser Thiere im Wasser mit ihrem engen Sehfelde in Harmonie sind. Die Bewegungen dieser Thiere im Wasser sind beständig vor sich hin stossend und nicht schweifend.

Es ist leicht einzusehen, dass die absolute Grösse des Auges nicht den geringsten Einfluss auf die Grösse des Gesichtsfeldes hat. Ein Auge kann sehr klein seyn und kann doch ein sehr grosses Gesichtsfeld haben, wenn das kleine Auge viel von einer Kugel darstellt. Dagegen kann ein Auge gross seyn und doch sehr wenig Gesichtsfeld haben, wenn es flach ist und ein geringer Abschnitt einer Kugel ist.

Sehwinkel. Aus dem Vorhergehenden ergiebt sich zugleich, wovon die relative Grösse der Bilder zum ganzen Sehfelde eines Insectes abhängt. Die Grenzen des Bildes jedes Körpers werden nämlich bestimmt durch die Lichtstrahlen, welche von den Puncten des Objectes durch die Achsen der Kegel des Auges einfallen. Denkt man ideal sich diese Strahlen nach innen verlängert, bis da, wo sie sich treffen, so bildet der von ihnen eingeschlossene Winkel den Sehwinkel, Angulus opticus. Oder denkt man sich den Kreisabschnitt, welchen das Auge darstellt, zum Kreis verlängert, und wird dieser Kreis nach Graden, Minuten, Secunden eingetheilt, so drückt die Oberfläche des Auges die Distanz der Puncte auf derselben in Winkelgraden aus. Da nun die relative Grösse der Gesichtobjecte, im Verhältniss zum Objecte, immer von der Lage der Kegel abhängt, welche das Licht der einzelnen Puncte durchlassen, so lässt sich für jedes Object die Grösse des Sehwinkels nach der Distanz der Kegel, welche die Strahlen, die von seinen Grenzen kommen, durchlassen, in Graden, Minuten und Secunden angeben. Gegenstände verschiedener Entfernung, welche ihre Lichtstrahlen doch durch dieselben Kegel zum Auge werfen, haben natürlich gleich grosse Bilder, ihr Gesichtswinkel ist gleich. So erscheint in der Figur pag. 318. ein von der Linie *C* bis *E* sich ausdehnender Körper immer unter dem Sehwinkel x, und seine scheinbare Grösse verhält sich zum Sehfeld wie x zu 180°. Der kleinste Sehwinkel unter welchem ein Insect noch etwas wird unterscheiden können, wird der seyn, der bloss durch die Achsen zweier nebeneinanderliegender Kegel eingeschlossen wird. Da nun viele tausende von Kegeln in einem Auge vorkommen, so lässt sich hiernach auch die Schärfe des Sehens bei diesen Thieren im Allgemeinen abnehmen.

Wenn man der bisherigen Auseinandersetzung gefolgt ist, so wird man einsehen, dass das Auge der Insecten und Krebse keiner Veränderung seines Baues bedarf, mag es zum Sehen in der Luft oder im Wasser bestimmt seyn; denn Alles bleibt sich gleich für das Sehen unter diesen verschiedenen Bedingungen. Auch finden sich zufolge meiner Beobachtungen durchaus keine Unterschiede

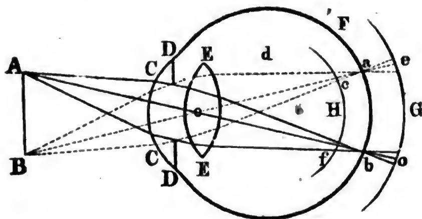
im Bau der Augen bei Luft- und Wasserinsecten. Bei den im Wasser lebenden Thieren mit collectiven Linsen der Augen muss die Brechkraft der Linse stärker seyn, als für das Leben in der Luft, weil der Unterschied der Dichtigkeit zwischen dem umgebenden Wasser und der Linse geringer ist, als zwischen Luft und Linse. Die Brechkraft der Augenmedien kömmt aber bei den Insecten fast gar nicht in Betracht, und jeder Conus repräsentirt sein ihm entgegengesetztes Object, mag es im Wasser oder in der Luft geschehen.

Das vollkommenste Auge eines Insectes wird zuletzt dasjenige seyn, welches durch absolute Grösse des Auges, grosse Anzahl der Kegel und Facetten, und Länge der Kegel deutlich sieht, und durch Grösse des Kugelabschnittes oder Convexität des Auges ein grosses Sehfeld hat.

B. Vom Sehen der Augen mit collectiven dioptrischen Medien.

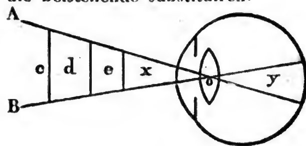
(*Schriften von* Treviranus, Tourtual, Hueck, Volkmann.)

Bei dem zusammengesetzten Auge der Insecten und Crustaceen wird das Sehen von Objecten möglich, dadurch dass von dem auf das ganze Auge auffallenden Lichtkegel jedes einzelnen Punctes, bloss der durch einen gewissen Radius des Auges einfallende Lichtstrahl in die Tiefe des Auges gelangt, das übrige Licht aber ausgeschlossen wird. Bei dem Sehen durch collective Medien wird der von einem Puncte ausgehende Lichtkegel durch Brechung wieder in einen Punct, der sich auf der empfindenden Nervenhaut befindet, vereinigt. Die Brechung durch collective Medien ist aber am Auge des Menschen und der höhern Thiere eine dreifache. Zuerst werden die Strahlen der von den Puncten *A* und *B* und jedem andern Puncte ausgehenden Lichtkegel, durch die Hornhaut *CC* und die wässrige Feuchtigkeit zwischen dieser und der Linse gebrochen, d. h. dem mittlern oder Achsenstrahl zugelenkt; denn diese Medien brechen vermöge ihres Unterschiedes der Dichtigkeit von der Luft und vermöge ihrer Convexität. Zum zweiten Mal geschieht die



Brechung durch die vordere convexe Fläche der Linse *EE*, und die Strahlen der Lichtkegel werden den mittlern oder Achsenstrahlen noch mehr zugelenkt, wegen des Unterschiedes der Dichtigkeit der Linse und der wässrigen Feuchtigkeit und

der Convexität der vordern Linsenfläche. Zum dritten Mal werden die Strahlen des Kegels gebrochen bei dem Uebergang aus dem dichtern Medium der Linse in das dünnere des Glaskörpers. Im vorhergehenden *Capitel p.* 284. wurde bewiesen, dass eine Linse die Strahlen des Kegels, sowohl beim Uebergang aus dem dünnen Medium in die convexe vordere Fläche des dichtern Mediums, als beim Austritt der Strahlen aus der convexen hintern Fläche der Linse in das dünnere Medium den Achsenstrahlen zulenkt. Daher werden die Strahlen der Lichtkegel von *A* und *B* bei *b* und *a* wieder zu Puncten vereinigt, und befindet sich an dieser Stelle die Nervenhaut *F* des Auges, so werden *A* und *B* bei *b* und *a* als vollkommen entsprechende Puncte empfunden. Befände sich aber die Nervenhaut nicht in *a* und *b*; sondern vor oder hinter dieser Stelle, z. B. in *H* oder *G*, so würden statt lichter Puncte, vielmehr lichte Zerstreuungskreise, für *H* die Zerstreuungskreise *c* und *f*, für *G* die Zerstreuungskreise *e* und *o* gesehen werden, denn in *H* sind die Lichtkegel noch nicht zu einem Puncte vereinigt und in *G* sind sie es ebenso wenig, da sie nach ihrer Vereinigung in *b* und *a* wieder divergiren. Die Nervenhaut *F* muss sich also genau in der gehörigen Vereinigungsweite von der Linse befinden, wenn ein scharfes Bild entstehen soll, d. h. wenn die von einem Puncte ausgehenden Strahlen, auch wieder in einem Puncte vereinigt werden sollen. Im vorigen Capitel wurde bewiesen, dass die Vereinigungsweite des Bildes ferner von der Linse fällt, wenn der Gegenstand näher ist, näher der Linse zurückt, wenn er ferner ist. Die Direction, welche die Strahlen vermöge der Brechung nehmen, hängt übrigens von dem mittlern Strahle der Lichtkegel ab, welchem die seitlichen Strahlen zugelenkt werden. Das Bild eines Punctes entwirft sich also immer in der Richtung der mittlern Strahlen oder Achsenstrahlen *Ba* und *Ab*. Allerdings erleidet auch der Achsenstrahl eines Lichtkegels, wenn er nicht durch die Achse der Linse selbst durchgeht, sondern schief auf die Cornea und Linse auffällt, Ablenkungen von seinem Wege. Sieht man von diesen ab, so wird die Stelle, wo sich ein Bild von einem Puncte auf der Netzhaut entwirft, durch die Verlängerung des Achsenstrahls, oder durch den durch die Mitte der Pupille des Auges durchgehenden Strahl bestimmt. Daher kann man der vorhergehenden Figur die beistehende substituiren.



Ab ist der Achsenstrahl des von *A* ausgehenden, *Ba* der Achsenstrahl des von *B* ausgehenden Lichtkegels, das Bild von *A* erscheint in *b*, das Bild von *B* in *a*, umgekehrt; was im Objecte oben war, erscheint unten, was im Objecte unten war, erscheint oben, und so das rechtseitige erscheint links, das linksseitige im Bilde rechts. Von dem bisher Erörterten kann man sich durch einen Versuch an dem Auge eines Thiers überzeugen. Wird dasselbe von oben vorsichtig ge-

öffnet, so dass man durch den Glaskörper auf die Nervenhaut sehen kann, so sieht man das Bild eines hellen Gegenstandes, z. B. des erleuchteten Fensters eines Zimmers, auf dem Grunde des Auges. Noch leichter geschieht diess, wenn man das leukäthiopische Auge eines Kaninchens, dessen Augenhäute wegen Mangel des schwarzen Pigmentes durchscheinend sind, rein präparirt, mit der vordern Seite gegen ein lichtes Fenster hält, und die hintere durchscheinende Wand des Auges beobachtet. Bei diesem von Magendie angeführten Versuche sieht man ein sehr reines Bildchen des Fensters auf dem Grunde des Auges und zwar Alles umgekehrt.

Den von den kreuzenden Achsenstrahlen zweier Objectspuncte eingeschlossenen Winkel x nennt man den Sehwinkel, Angulus opticus s. visorius. Dieser Winkel wächst mit der Entfernung der Puncte A und B von einander und da x gleich y, so wächst auch mit dem Sehwinkel x, die Entfernung der Puncte des Bildes a und b auf der Netzhaut. Gegenstände verschiedener Entfernungen, welche gleiche Sehwinkel x haben, z. B. die Gegenstände c, d, e müssen auch gleich grosse Bilder auf der Nervenhaut einnehmen, und wenn sie zu demselben Sehwinkel gehören, muss ihr Bild dieselbe Stelle der Netzhaut einnehmen.

Vorher wurden als Achsenstrahlen diejenigen angenommen, welche durch die Mitte des Sehlochs durchgehen, und also in die Nähe des Mittelpunctes der Krystallinse fallen. Diese Annahme entspricht indess nicht genau der Wirklichkeit, d. h. eine vom Object durch die Mitte der Pupille durchgehende Linie trifft nicht genau das Netzhautbild. Denn auch die mittlern Strahlen eines Lichtkegels erleiden, wenn sie schief auf die Cornea und Linse auffallen, Ablenkungen durch die Brechung. Daraus folgt, dass der wirkliche Richtstrahl für den, von einem Puncte ausgehenden Lichtkegel erst durch Erfahrung und Berechnung gefunden werde, und dass das vom Sehwinkel bemerkte hiernach eine Modification erleidet. Es liegen also die Puncte des Bildes a und b nicht in der Fortsetzung von Bo und Ao. Nun entsteht noch die Frage, wie weit eine vom Object zum Netzhautbild gezogene gerade Linie von dem, durch die Mitte der Pupille, durchgehenden Achsenstrahl abweicht.

Auf eine ausführlichere Erörterung dieses Gegenstandes kann man hier nicht näher eingehen, und nur das Resultat der darüber angestellten Versuche anführen. Volkmann hat darüber dankenswerthe Beobachtungen geliefert, aus denen hervorgeht, dass es einen Punct im Auge gibt, in welchem Linien sich kreuzen, die von verschiedenen Objecten zu ihren Netzhautbildchen gezogen werden, welche Linien er Richtungsstrahlen nennt, und dass der Punct, in welchem sich die Richtungsstrahlen für die Lichtstrahlen verschiedener Lichtkegel kreuzen, weder in der Mitte der Pupille, noch in der Mitte der Linse, sondern hinter der Linse liegt.

Da die Ebene des Auges, auf welcher sich die Bilder formiren, concav ist und sich von der Mitte gegen die Ränder allmählig der Linse nähert, so ergiebt sich, dass die Bilder seitlicher Gegenstände nicht so deutlich seyn können, als die Bilder mittlerer Gegen-

stände, in deren Vereinigungsweite sich die Mitte der Nervenhaut befindet. Die Undeutlichkeit der seitlichen Bilder hat aber auch noch andere Gründe. Denn die Strahlen eines Lichtkegels von seitlichen Gegenständen vereinigen sich, wegen Ungleichheit der Brechung, nicht genau in demselben Puncte. Der Hauptgrund der zunehmenden Undeutlichkeit der Bilder von der Mitte der Netzhaut nach aussen, scheint aber in der Nervenhaut selbst zu liegen.

Da die Lichtstrahlen, welche auf den Randtheil der Linse fallen, eine andere Brechung erleiden, als die mittlern oder Centralstrahlen, durch die Aberration wegen der Kugelgestalt (Siehe oben p. 289.), so war für den Zweck des deutlichen Sehens am Auge eine ähnliche Vorrichtung nöthig, wie an den optischen Instrumenten, nämlich eine Bedeckung des Randtheils der Linse durch ein Diaphragma, die Iris, welche nur die Centralstrahlen durch ihre offene Mitte, die Pupille zulässt. Das Diaphragma des Auges hat aber den Vortheil, dass es beweglich ist, sich erweitern und verengern kann. Indem sich die Pupille in der Dunkelheit und bei geringer Beleuchtung erweitert, kann wenigstens in Menge des Lichtes gewonnen werden, was an Schärfe des Bildes verloren geht. Auch kann das Bild der Randstrahlen bei sehr weiter Pupille unter Umständen scharf seyn, wenn das Bild der Centralstrahlen, weil es nicht in der Vereinigungsweite aufgefangen wird, undeutlich ist, oder gar nicht gesehen wird. Bei enger Pupille, richtiger Sehweite und heller Beleuchtung muss die Schärfe und Deutlichkeit des Bildes am grössten seyn, weil die Lichtmenge in diesem Fall auch bei enger Pupille hinreicht, und die enge Pupille die Entstehung eines undeutlichen Bildes der Randstrahlen von anderer Vereinigungsweite ausschliesst.

Anlangend die Beschaffenheit der Linse, so wird sie um so dichter und convexer seyn müssen, je geringer der Unterschied der Dichtigkeit des Mediums, worin das Thier lebt, und der wässrigen Feuchtigkeit ist. Bei den Fischen ist die Linse kugelrund und die Hornhaut meist flach. Bei den in der Luft lebenden Thieren ist die Hornhaut convexer und die Linse flacher.

Das Innere der Augenwände, hinter der Iris und dem Strahlenkörper, und hinter der Nervenhaut selbst ist mit schwarzem Pigment ausgekleidet. Diese Einrichtung hat denselben Vortheil, wie die Auskleidung der optischen Instrumente auf ihren innern Wänden mit schwarzen Pigment. Dasselbe absorbirt die irgend reflectirten Lichtstrahlen und macht, dass sie nicht zum zweiten Mal zum Grunde des Auges gelangend, die Deutlichkeit der Bilder stören. Diesen Zweck hat das Pigment an der hintern Fläche der Iris und des Corpus ciliare. Aber auch die Auskleidung der hintern Wand der Nervenhaut selbst mit dem Pigment der Choroidea ist in dieser Hinsicht wichtig. Die Nervenhaut ist sehr durchscheinend, befände sich hinter ihr eine, das Licht reflectirende, nicht dunkelgefärbte Haut, so würden die Lichtstrahlen, welche die Nervenhaut selbst schon getroffen haben, durch die Nervenhaut wieder zurück reflectirt werden, und auf andere Stellen dieser Membran fallen, wodurch nicht bloss Blendung durch Uebermass

von Licht, sondern auch Trübung der Bilder entstehen würden. Die Thiere, bei welchen das Pigment der Choroidea fehlt, und die Albinos unter den Menschen befinden sich in diesem Falle. Die Albinos, Leucoäthiopen oder Leucotischen sind von dem Tageslichte leicht geblendet und sehen in der Dämmerung leichter.

Bei mehreren in der Dämmerung lebhaften und jagenden Thieren, die während des Tages träger sind, kommen wohl auch die pigmentlosen oder vielmehr mit weissem Pigment bedeckten Stellen ihrer Choroidea in dieser Hinsicht in Betracht, wie bei den Katzen und anderen lichtscheuen Thieren.

Die Schärfe oder Deutlichkeit des Bildes auf dem mittlern Theil der Netzhaut hängt von sehr Verschiedenem ab, 1) von der vollkommenen Vereinigung der von jedem Puncte kommenden Lichtstrahlen in einem entsprechenden Puncte der Netzhaut oder von der Vermeidung der Zerstreuungskreise, 2) von der hinlänglichen Stärke der Beleuchtung, 3) von den kleinsten Theilchen der Nervenhaut, die einer Perception als von einander verschieden fähig sind. Die erste Bedingung der Deutlichkeit, welche davon abhängt, dass sich die Nervenhaut genau in der Vereinigungsweite des Bildes befinde, begründet die Weite des deutlichen Sehens bei verschiedenen Menschen, welche bekanntlich bald kurzsichtig, bald fernsichtig sind, bald auch in dieser Beziehung keine enge Grenze haben, indem sich ihr Auge nach der verschiedenen Entfernung der Gegenstände und für die Vereinigungsweite des Bildes zu adjustiren vermag. Da jedoch das Vermögen der inneren Veränderungen für das Sehen in verschiedenen Fernen seine Grenzen hat, so giebt es bei jedem Menschen eine Entfernung, in welcher er am deutlichsten sieht, und deren Vereinigungsweite des Bildes dem Stand seiner Nervenhaut von der Linse, und der Brechkraft seiner Augenmedien am meisten entspricht. Man kann diese Distantia visionis distinctae bei der Mehrzahl der Menschen zu 5 — 10 Fuss anschlagen. Gegenstände die dem Auge zu nahe sind, werfen starke Zerstreuungskreise auf die Netzhaut, ein dicht vor das Auge gehaltener schmaler Körper, eine Stecknadel wird daher gar nicht mehr oder nur als Schimmer gesehen. In einer viel grössern Entfernung als 20 Zoll können wenige Menschen noch deutlich die Schrift unterscheiden. Doch bedingt die Brechkraft der Augenmedien hierin grosse Verschiedenheiten. Der Nahsichtige oder Myopische sieht nur das Allernächste deutlich, das Ferne ganz unkenntlich, der Fernsichtige muss einen kleinen, schwer unterscheidbaren Gegenstand in eine grössere Entfernung bringen, wenn er etwas davon sehen soll. Die zweite Bedingung der Deutlichkeit ist die hinreichende Menge des Lichtes, Uebermass sowohl als Mangel an Licht bedingen Undeutlichkeit des Bildes. Endlich hängt die Schärfe der Empfindung von den kleinsten Theilchen der Netzhaut ab, welche einer gesonderten Perception als im Raum verschieden fähig sind. Ein Beispiel hiefür liefern Körper, welche abwechselnd sehr feine, weisse und schwarze Linien zeigen. Kupferstiche in einer solchen Entfernung angesehen, dass die Bilder der weissen und schwarzen Linien zugleich auf Netzhauttheilchen von einer gewissen Grösse fallen, lassen die Grenzen der weissen

und schwarzen Linien nicht mehr erkennen, und bringen nur einen gemischten Eindruck des Grauen hervor, dasselbe gilt von verschieden farbigen, regelmässig abwechselnden, sehr feinen Linien, z. B. von blauer und gelber Farbe, diese bringen dann den gemischten Eindruck Grün hervor. Aus diesem Grunde erscheinen endlich alle Gemische von zwei verschiedenen Farbestoffen, nicht als Gemische, sondern als homogene Mittelfarbe. Es folgt also, dass es Minima in der Nervenhaut giebt, welche die auf sie fallenden Eindrücke zu Einem vermischen, und nicht mehr räumlich unterscheiden, wenn sie im Bilde wirklich räumlich verschieden sind. Es fällt sogleich ein, dass dieses wahrscheinlich die papillenförmigen Endigungen oder stabförmigen Körper der innern Netzhautschicht seyn werden, und es lässt sich vermuthen, dass verschiedene Strahlen, welche nebeneinander auf einen solchen kleinsten Theil der Nervenhaut fallen, nicht mehr als verschieden empfunden werden, dass vielmehr jede Papille nur einen einzigen mittlern Eindruck von allen Einflüssen erhalten und fortpflanzen würde, die sie zu gleicher Zeit treffen. Auf diese Weise würde das Bild auch wieder wie eine Mosaik zusammengesetzt werden, wovon ein einzelnes Element in sich selbst homogen wäre. Die kleinsten Theile der Netzhaut stimmen nun mit den kleinsten empfindlichen Puncten der Netzhaut, in der That ziemlich überein. Der kleinste Gesichtswinkel, unter welchem Viele zwei Puncte unterscheiden können, ist 40″. Daraus berechnet Smith, dass ein kleinster empfindlicher Punct der Nervenhaut $\frac{1}{8000}$ Zoll betrüge. Nach Treviranus Untersuchungen ist der Querdurchmesser der Netzhautpapillen beim Kaninchen 0,0033, bei Vögeln 0,002 — 0,004. 0,003 Mill. sind 0,00011 Zoll, 0,004 Mill. sind 0,00015 Zoll Engl. Der mittlere Durchmesser der Netzhautpapillen zwischen 0,003 und 0,004 oder beiläufig zwischen $\frac{1}{6000}$ und $\frac{1}{10000}$ Zoll angenommen, so würde demnach der kleinste empfindliche Netzhauttheil sehr genau mit dem kleinsten wirklichen Theil der Netzhaut übereinstimmen. Auch E. H. Weber's ältere Messungen der Kügelchen der Netzhaut des Menschen zu $\frac{1}{8000}$ bis $\frac{1}{5400}$ P. Z. stimmen damit sehr zusammen.

Nach anderen Bestimmungen würde indess keine Congruenz herauskommen, und Volkmann macht es wahrscheinlich, dass die Unterscheidung durch die Nervenhaut feiner ist, als es seyn könnte, wenn die Nervenfasern die letzten Elemente wären. Muncke nimmt 30″ als kleinsten Gesichtswinkel an, Treviranus erkannte einen schwarzen Punct von 0,00833″ Durchmesser auf weissem Grunde bis in eine Entfernung von 48″, und Volkmann berechnet daraus den Durchmesser des kleinsten Netzhautbildchens zu 0,000060″. Diese Annahme sei noch zu gering, jedes nur mittelmässige Auge erkenne ein Haupthaar von 0,002″ Durchmesser in einer Entfernung von 30″, was ein Netzhautbildchen von 0,000023″ ergeben würde. v. Baer's Schüler konnte ein Haar von $\frac{1}{60}$ Linie Stärke in einer Entfernung von 28″ noch wahrnehmen, was nach Volkmann ein Netzhautbildchen von 0,0000014″ ergeben würde. Daher schliesst Volkmann, dass ganz abgesehen von dem letzten ausserordentli-

chen Falle, die kleinsten Netzhautbildchen kleiner sind, als die kleinsten Elemente der Retina, deren Masse wir kennen.

III. Innere Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen.

Dass für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen Veränderungen des Auges nöthig sind, leuchtet schon aus dem Vorhergehenden im Allgemeinen ein. Die Vereinigungsweite des Bildes ist für fernere Gegenstände der Linse etwas näher, für nähere von der Linse etwas ferner. Wie viel der Unterschied in der Vereinigungsweite für das Sehen in die Nähe und Ferne unter den Brechungsverhältnissen des Auges betrage, hat Olbers in seiner trefflichen Schrift *de internis oculi mutationibus. Gött.* 1780. untersucht. Wir schicken zuerst Etwas davon voraus, damit man sich einen deutlichen Begriff von der Grösse der nöthigen Veränderungen mache, um welche es sich handelt. Zufolge seiner Berechnung würde die Entfernung des Bildes von der Cornea, für die beispielsweise genommenen Entfernungen des Gegenstandes von 4, 8, 27 Zoll und eine unendliche Entfernung des Gegenstandes folgende seyn.

Entfernung des Gegenstandes.	Entfernung des Bildes von der Cornea.
unendliche	0,8997 Zoll
27 Zoll	0,9189 —
8 —	0,9671 —
4 —	1,0426 —

Hieraus ergiebt sich, dass für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen von 4 Zoll an bis in eine unendliche Entfernung nur ein Unterschied der Vereinigungsweite von 0,143 Zoll erfordert würde. Demnach würde, wenn die Cornea und Linse ihre Convexitäten behalten, die Entfernung der Netzhaut von der Linse sich für alle Entfernungen des Objectes nur beiläufig um 1 Linie zu verändern brauchen, was entweder durch Verlängerung des Auges oder eine Ortsveränderung der Linse bewirkt werden könnte. Young nimmt die Veränderung zu $\frac{1}{6}$ der Augenachse an.

Begreiflicherweise könnte derselbe Zweck auch ohne Veränderung der Entfernung der Linse und Netzhaut dadurch erreicht werden, dass entweder die Hornhaut oder die Linse ihre Convexität zu ändern vermögen.

Olbers hat auch die Aenderung der Convexität der Hornhaut berechnet, welche für das deutliche Sehen in verschiedenen Entfernungen nöthig wäre. Der Radius der Cornea für die beispielsweise gewählten Entfernungen der Objecte würde folgender seyn.

Entfernung des Objectes.	Radius der Hornhaut.
unendlich	0,333 Zoll
27 Zoll	0,321 —
20 —	0,303 —
5 —	0,273 —

Würde sich der Radius der Cornea auch nur von 0,333 bis 0,300 Zoll ändern können, die Länge des Auges aber um eine halbe Linie wachsen können, so könnte das deutliche Sehen in allen Entfernungen, die über 4 Zoll hinausreichen, stattfinden. Diese Resultate können als Basis der folgenden Untersuchung dienen.

Es scheint gewiss, dass wenn das Sehen in verschiedenen Entfernungen gleich scharf seyn soll, solche Veränderungen im Innern des Auges durchaus nöthig sind. Aber Einige haben diess Vermögen der inneren Veränderung des Auges überhaupt abgestritten, wie unter den älteren De La Hire und Haller, unter den neueren Magendie, Simonoff (*J. d. physiol.* 4. 260.) und Treviranus (*Beiträge zur Anat. u. Physiol. der Sinneswerkzeuge.* 1828. *und Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens.* 1 — 3 *Heft.*); während hingegen die Mehrzahl der Physiker und Physiologen die Wirklichkeit der innern Veränderungen des Auges aus Thatsachen für erwiesen hält. Magendie beruft sich darauf, dass das Bild im Auge des Kaninchens an Deutlichkeit nicht verliere, wenn auch der Gegenstand seine Entfernung verändere, was nicht für alle Fälle richtig ist. G. R. Treviranus ist durch Berechnung der Wirkungen von Linsen von zunehmender Dichtigkeit nach innen zu einem Resultate gelangt, nach welchem bei diesem Baue die Vereinigungsweite selbst für verschiedene Entfernungen der Gegenstände gleich bleiben würde, so dass dann innere Veränderungen für das Sehen in verschiedenen Fernen unnöthig würden.

Bei aller Anerkennung einer so eleganten mathematisch-optischen Behandlung dieses Thema's lassen sich doch die Resultate von Treviranus Berechnung mit der Erfahrung am Auge selbst nicht vereinigen. Kohlrausch hat überdiess die Richtigkeit der Deduction bestritten. Ueber Treviranus *Hypothese* 1837. Vielmehr lässt sich die Wirklichkeit der inneren Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen, durch einfache und genaue Versuche unbestreitbar beweisen.

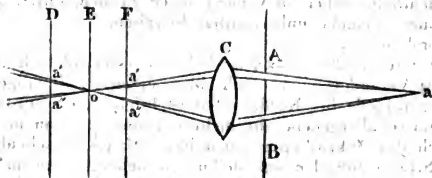
Es sind folgende:

1) Der Accomodations-Zustand des Auges erleidet oft in kurzer Zeit grosse Veränderungen. Nicht bloss erzeugt beständiges Sehen naher Gegenstände bei Kindern Kurzsichtigkeit, oft entsteht dieser Zustand vorübergehend für mehrere Stunden, wenn man lange Zeit durch das Mikroskop gesehen hat. Man unterscheidet dann auf der Strasse zuweilen auf 20 Fuss unsicher, wenn man auch sonst ein sehr gutes Gesicht in die Nähe und Ferne hat. Mir

ist diess oft geschehen. Dieser Zustand dauert zuweilen mehrere Stunden an.

2) Visirt man mit nur einem offenen Auge die sich deckenden Enden in verschiedener Entfernung aufgestellter Nadeln, so erscheint die erste deutlich, wenn die zweite nebelig erscheint, und die zweite deutlich, wenn die erste undeutlich gesehen wird. Beide Bilder liegen in der Achse und decken sich, und doch hängt es von einer willkührlichen, im Auge fühlbaren Anstrengung ab, das erste oder das zweite deutlich zu sehen. Wenn ich also bei kleiner Pupille, wie sie für den nahen Gegenstand ist, diesen fixire, und die Vereinigungsweite seines deutlichen Bildes im Mittelpunct der Netzhaut ist, so bildet der fernere Gegenstand mit den durch die enge Pupille fallenden Centralstrahlen doch einen Zerstreuungskreis um den Mittelpunct der Netzhaut, d. h. diese Centralstrahlen des fernen Gegenstandes haben ihre Vereinigungsweite nicht in der Entfernung der Netzhaut, sondern davor. *Jahrb. f. wissensch. Kritik.* 1829. *Oct.* 623. Der Versuch kann auch so angestellt werden, dass man den Kopf einer Nadel durch die enge Oeffnung eines Kartenblattes visirt. Es hängt von der Willkühr ab, den Rand der Oeffnung deutlich zu sehen, wobei der Nadelkopf undeutlich wird, oder diesen deutlich zu sehen, wobei dann der Rand der Kartenöffnung undeutlich wird. Treviranus hat diesen Erscheinungen nicht die gehörige Aufmerksamkeit gewidmet, und seine Erklärung, dass die Erscheinung von der Versetzung der Nerventhätigkeit auf andere Puncte abzuleiten sei, ist vollends ungenügend. Die beiden Bilder fallen auf denselben Punct der Netzhaut, eine Nadel deckt die andere und doch sehe ich die erstere durch den Zerstreuungskreis der zweiten und die zweite durch den Zerstreuungskreis der erstern. Um Versetzung der Aufmerksamkeit auf andere Puncte der Retina kann es sich also nicht handeln. Ich sehe ein ganzes Blatt mit Lettern undeutlich, sobald ich die Veränderung im Innern des Auges für eine andere Entfernung mache; hier ist gar kein Gegenstand des deutlichen Sehens vorhanden, d. h. die Veränderung ist für eine solche Nähe oder Ferne, in welcher gerade kein Gegenstand da ist oder gesehen werden kann. Vergl. Volkmann und Kohlrausch a. a. O.

3. Scheiner's Versuch. Scheiner *oculus sive fundamentum opticum.* Werden in ein Kartenblatt mittelst einer Stecknadel zwei Oeffnungen gemacht, die einander näher sind als der Durchmesser der Pupille gross ist, und wird durch diese vor ein Auge gehaltenen



Oeffnungen ein kleiner Gegenstand *a* angesehen, so erscheint dieser nur in einer bestimmten Entfernung einfach, in jeder andern aber doppelt. So erscheint er, wenn *A* und *B* die Oeffnungen des Kartenblattes, einfach als *o*, wenn in *E* die Netzhaut ist. Ist aber die Entfernung von *a* grösser und *D* die Netzhaut, so dass das Bild nicht mehr auf die Netzhaut, sondern vor dieselbe in *o* fällt, so kreuzen sich die Strahlen hinter *o*, und auf die Netzhaut *D* fällt das Doppelbild $a'a''$, wovon das untere a'' verschwindet, wenn die entgegengesetzte oder obere Kartenöffnung *A* verschlossen wird und umgekehrt. Desgleichen wenn die Entfernung von *a* zu klein ist. Denn dann fällt das Bild hinter die Netzhaut *F* in *o* und es erscheinen auf der Netzhaut *F* die Doppelbilder $a'a''$, wovon das untere Bild a'' verschwindet, wenn die Kartenöffnung derselben Seite *B* geschlossen wird.

Die Consequenzen dieses Versuchs haben ferner Porterfield, Young (*Philos. trans.* 1801.), Purkinje, Plateau, Volkmann erläutert, und der letztere denselben mannigfach variirt. Der Versuch von Scheiner beweist offenbar die Nothwendigkeit der inneren Veränderungen für das deutliche Sehen und die Unrichtigkeit der Hypothese von Treviranus, indem er zeigt, dass das Bild unter gewissen Umständen vor oder hinter die Netzhaut fällt. Hieher gehört auch ein Versuch von Beudant und Crahay. Wird eine Stecknadel in einer Entfernung von 5 — 6 Centimeter vom Auge durch ein Nadelloch in einem Kartenblatt gesehen und das Kartenblatt hin und her bewegt, so bewegt sich die Nadel scheinbar auch, in umgekehrter Richtung. Die Erklärung ergiebt sich aus den Erscheinungen des undeutlichen Sehens, wenn das Bild vor oder hinter die Netzhaut fällt. Im ersten Falle z. B. divergiren die Strahlen von dem Vereinigungspuncte wieder und es entwirft sich ein Zerstreuungskreis auf der Netzhaut. Intercipirt die Karte bei ihrer Bewegung einen Theil der Strahlen, so kommen nur die kreuzenden Strahlen der einen Seite zur Netzhaut. Daher die scheinbare Verrückung des Bildes. Bei diesen Phaenomenen kömmt übrigens auch die Diffraction am Rande der Kartenöffnung in Betracht.

Die Ursachen der Accomodation des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen können in sehr verschiedenen Theilen gesucht werden: in den Bewegungen der Iris, in der Verrückung der Linse, in der Verlängerung der Achse des Auges, in der Veränderung der Convexität der Hornhaut oder der Linse. Eine Zusammenstellung aller hieher gehörenden Hypothesen haben Haller *elem. physiol. T. V. L. XVI. Sect.* 4. §. 20., Olbers *a. a. O.* und Treviranus *in seiner Biologie.* 6. 512. gegeben, auf welche ich hier verweise.

1. In den Bewegungen der Iris suchten u. A. Mile und Pouillet die Ursache, der erste rechnete auf die Beugung oder Diffraction des Lichtes am Rande der Iris, wodurch sehr verschiedene Vereinigungsweiten für die respectiven Strahlen entstehen, der zweite auf das Sehen durch die Randstrahlen oder Centralstrahlen bei verschiedener Weite der Pupille.

2. In der Verlängerung und Verkürzung der Achse der Linse

suchte YOUNG jenes Vermögen. HUNTER und YOUNG schrieben der Linse eine ihr selbst eigene Contractilität zu. *Phil. Transact.* 1794.

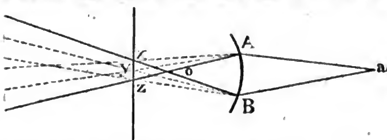
3. Veränderung der Convexität der Hornhaut nahm HOME mit ENGLEFIELD und RAMSDEN an; sie kann entweder durch die Wirkung der Augenmuskeln nach HOME, oder bei Vögeln durch den von CRAMPTON am Orbiculus ciliaris gefundenen eigenen Muskel bewirkt werden.

4. Die Ortsbewegung der Linse durch die Ciliarfortsätze oder die Zonula sahen KEPLER, SCHEINER, PORTERFIELD, CAMPER und viele Andere als Ursache an.

5. Endlich suchten Viele die Ursache der innern Veränderung in der Wirkung der Augenmuskeln auf die Gestalt des Auges, als ROHAULT, BAYLE, OLBERS, HOME, SCHROEDER VAN DER KOLK, sei es dass man die Gestaltsveränderung des Auges von den geraden, oder von den schiefen Augenmuskeln abhängig machte.

Was zunächst die Iris und Pupille betrifft, so steht die Bewegung der Iris in einem unleugbaren Zusammenhange mit dem Accomodationsvermögen des Auges. Denn beim Sehen in die Ferne ist die Iris weit, beim Sehen in die Nähe eng, und man kann trotz eines starken Lichteindruckes, z. B. bei einer vor das Auge gehaltenen Lampe, doch die Weite der Pupille sehr verändern, wenn man in die Ferne oder Nähe sieht, indem man die Achsen der Augen bald convergirend auf einen nähern Gegenstand, bald mehr parallel auf einen sehr fernen Gegenstand richtet. Indess sind diese Veränderungen der Iris nur von der Bewegung der Augen durch die Augenmuskeln und durch den Einfluss des Nervus oculomotorius auf das Ganglion ciliare und die Irisnerven abhängig. Es sind Mitbewegungen, denn die Zusammenziehung der Iris tritt jedes Mal ein, wenn man auch nur das eine Auge (bei geschlossenem andern), nach innen oder nach innen und oben dreht, und ist insofern als Mitbewegung durchaus an die willkührliche Bewegung mehrerer vom Nervus oculomotorius abhängiger Augenmuskeln geknüpft. Man kann daher keinen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Bewegung der Iris und dem Accomodationsvermögen in jenen Erscheinungen anerkennen. Es fragt sich aber, in wieweit das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen aus den Bewegungen der Pupille erklärt werden könne.

a) Die Erklärung des deutlichen Sehens in verschiedenen Fernen aus den Beweguugen der Iris und aus der Beugung des Lichtes am Rande der Iris durch MILE ist folgende. MAGENDIE *J. d. physiol. VI. p.* 166. Ist *a* ein Punct eines Objectes, welcher seine Centralstrahlen nicht mehr auf der Nervenhaut selbst, sondern vor derselben zur Vereinigung brächte, und also durch seine Centralstrahlen nicht deutlich gesehen werden könnte, so würden dagegen die am Rande der Iris vorbeigehenden Strahlen *aA* und



aB ihre Vereinigung auf der Netzhaut finden. Denn am Rande der Iris findet Beugung der Lichtstrahlen statt und diese werden, statt in der Richtung *Ao* und *Bo*, vielmehr in der Richtung *Ay* und *By* fortgehen und sich in *y* auf der Retina vereinigen. Der Rand der Iris verlängere daher die Stelle, in welcher die Strahlen zur Vereinigung in einem Puncte kommen, über die Vereinigungsweite der Censtralstrahlen hinaus, und da die Beugung gegen den Rand der Iris zunimmt, so vereinigen sich die Strahlen immer weiter hinter der Linse, je näher dem Rande der Iris sie durchgehen. Die Vereinigungsweite der Censtralstrahlen und Randstrahlen sei daher keine bestimmte Entfernung von der Linse, sondern fände in einiger Länge von der Linse ab statt, daher das Auge durch die am Rande der Iris gebeugten Strahlen Etwas noch deutlich sehe, was durch die übrigen Strahlen nicht mehr deutlich gesehen werden könne. Der Fehler dieser Theorie besteht, wie Treviranus und Volkmann zeigen, darin, dass nach derselben nur die wenigen Strahlen zum Bilde benutzt werden, welche am Rande der Iris durchgehen, während sie die grössere Masse des Lichtes vernachlässigt, dass sie ebenso die anderweitigen Vereinigungen der Strahlen, wie z. B. in *x* und *z* vernachlässigt.

b) Pouillet's Erklärung beruht nicht auf der Beugung des Lichtes am Rande der Iris, sondern auf dem Unterschiede der Vereinigungsweite der Centralstrahlen und Randstrahlen, wovon die ersteren durch den mittlern Theil der Linse aus dichteren Schichten, die Randstrahlen nur durch den äussern aus dünnern Schichten bestehenden Theil der Linse durchgehen. Die auf den Centraltheil der Linse fallenden Strahlen sollen nämlich früher als die gegen den Rand der Linse fallenden Strahlen zur Vereinigung kommen. Da sich nun die Pupille beim Sehen in die Ferne erweitere, beim Sehen in die Nähe verengere, so würden beim Sehen in die Nähe die Randstrahlen abgehalten, und bloss die Censtralstrahlen zur Vereinigung gebracht, das Sehen in die Ferne finde dagegen mit den Randstrahlen statt, deren Vereinigungsweite nun mit der Entfernung der Netzhaut von der Linse übereinstimmt, insofern die Vereinigungsweite für ferne Objecte näher ist, als für nahe Objecte. Dagegen bilden bei weiter Pupille und fernem Gegenstande, die sich jetzt vor der Netzhaut vereinigenden Censtralstrahlen Zerstreuungskreise, die nach Pouillet unbeachtet bleiben, wegen der Intensität des Bildes der zur Vereinigung kommenden Randstrahlen. Die früher angeführten Facta über das Visiren zweier hintereinander aufgesteckter Nadeln, oder anderer sich deckender Körper verschiedener Entfernung, widersprechen dieser Theorie durchaus. Visirt man mit nur einem offenem Auge die sich deckenden Enden in verschiedener Entfernung aufgestellter Nadeln, so erscheint die erste deutlich, wenn die zweite nebelig gesehen wird, und die zweite deutlich, wenn die erste undeutlich erscheint. Bei kleiner Pupille für den nahen Gegenstand bildet also der fernere Gegenstand, mit den durch die enge Pupille fallenden Centralstrahlen, doch einen Zerstreuungskreis, indem sich diese Centralstrahlen des fernen Gegenstandes vor der Netzhaut vereinigen. Daraus folgt gegen die Theorie von

Pouillet, dass wenn der fernere Gegenstand fixirt und mit einer weitern Pupille gesehen wird, die Centralstrahlen bei aller Reinheit des von den Randstrahlen erzeugten Bildes nicht verloren gehen können, und wenn sie nicht verloren gehen, so muss die Ursache des deutlichen Sehens in verschiedenen Fernen nicht die von Pouillet angegebene seyn.

c) Diese Bemerkung gilt auch gegen Treviranus Ansicht, in dessen Theorie, ausser der verschiedenen Dichtigkeit der Linse, auch die Veränderung der Pupille ein Element ist. Zufolge seiner Berechnungen sollte eine Linse dann im Stande seyn, Lichtstrahlen von Objecten der verschiedensten Entfernung punctförmig zu vereinigen, wenn die Pupille nach einem näher von ihm angegebenen Gesetz, das Verhältniss der Randstrahlen zu den Centralstrahlen modificirt.

Gegen alle Hypothesen, welche das Accomodationsvermögen direct von der Bewegung der Iris ableiten, lässt sich endlich mit Volkmann anführen, dass wenn die Veränderung der Pupille das einzige Hülfsmittel der Accomodation wäre, jede Veränderung der Pupille durch das Licht auch eine Veränderung im Accomodationszustande hervorbringen müsste, was nicht der Fall ist. Auch das deutlich sehen eines Gegenstandes durch eine künstliche Pupille von Kartenpapier und das fortbestehende Vermögen, von zwei hintereinander stehenden visirten Nadeln die erste oder zweite nach Willkühr deutlich zu sehen, beweist klar genug, dass die letzte Ursache der Accomodation nicht in Veränderung der Grösse der Pupille liegt, und dass, wenn sich die Pupille nach der Entfernung verändert, diess mittelbar von etwas Anderem abhängig seyn muss. Sehe ich durch eine punctförmige Oeffnung eines Blattes, das dicht vor die Cornea gehalten wird, auf die Lettern eines 15 Zoll entfernten Buchs, so hängt es bei dieser stabilen Pupille von meinem Willen ab, unter Anstrengung des Auges deutlich oder undeutlich zu sehen.

Was die Hypothese von der Veränderung der Convexität der Hornhaut betrifft, so scheint sie bereits aus den von Olbers gelieferten Thatsachen widerlegt; denn Aenderungen im Radius der Hornhaut von 0,273 Zoll bis 0,333 Zoll sind an der Hornhaut durch Zusammendrückung des Auges, vermöge der Augenmuskeln nicht möglich. Home und Ramsden wollen zwar solche Veränderungen am lebenden Auge beim Sehen in verschiedenen Fernen gesehen haben, aber Young konnte es nicht bestätigen und überhaupt ist bei der Beweglichkeit des Auges kein genauer Versuch in dieser Hinsicht möglich. Am zweckmässigsten scheint noch die von der Oberfläche der Hornhaut reflectirten Bilder, z. B. das Bildchen vom lichten Fenster zu beobachten und zu sehen, ob es seine Grösse und Stellung bei der Veränderung der Sehweite für Puncte, die in derselben Direction liegen, ändert.

Die Erklärung der Accomodation des Auges durch Zusammendrückung des Auges, vermöge der Augenmuskeln hat auch ihre Schwierigkeiten. Allerdings lassen sich die Thatsachen daraus erklären, aber diess ist kein Beweis für die Richtigkeit der Ansicht, da sich die Thatsachen möglicherweise auf sehr verschie-

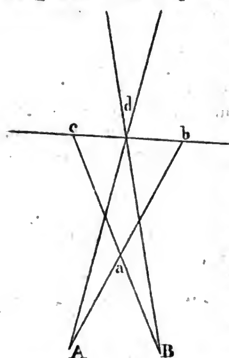
dene Weise erklären lassen. Eine Verlängerung des Auges in der Richtung seiner Achse durch die geraden Augenmuskeln, wie sie Olbers angenommen, ist schwer denkbar, wie Treviranus mit Recht bemerkt. Durch den Druck dieser Muskeln soll der Glaskörper nach hinten und vorn gedrängt werden. Allein die Augenmuskeln ziehen das Auge nur nach hinten, findet ein Widerstand von Seiten des Fettpolsters statt, so kann das Auge eher abgeplattet, als verlängert werden; hierdurch würde aber nur das Sehen in der Ferne befördert werden, bei welchem die Vereinigungsweite kürzer ist. Aber man fühlt nur beim Sehen in grosser Nähe eine innere Anstrengung in der Orbita. Viel leichter ist die Zusammendrückung und Verlängerung des Auges durch die schiefen Muskeln möglich, welche das Auge seitlich gegen die innere Wand anzuziehen vermögen. Auf diese Weise haben Le Camus, Rohault, Schroeder van der Kolk die Accomodation erklärt. Damit stimmt sehr gut, dass die Augen beim Nahesehen immer stärker convergiren müssen, und hierbei könnten die schiefen Muskeln wirken, wie in der Schrift von Luchtman's *de. mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti. Trajecti ad Rh.* 1832. scharfsinnig auseinandergesetzt ist. Aber auch dieser Erklärung und jeder andern, welche die Accomodation aus der Wirkung von Augenmuskeln erklärt, stehen Gründe entgegen. Das Auge kann schnell durch locale Einwirkung von Narcotica einen ganz andern Accomodationszustand erlangen, während sich die Pupille zugleich sehr erweitert. Diese Erscheinung kann nicht wohl durch Fortleitung des Narcoticums von der Conjunctiva auf die Augenmuskeln und ihre Nerven erklärt werden, da die Imbibition nur das Eindringen auf eine beschränkte Tiefe erklärt. Ueberdiess ist nach einer solchen localen Narcotisation die Bewegung der Augen durch die schiefen Muskeln nicht im geringsten gestört. Die fragliche Erscheinung wird am leichtesten durch Eintröpfelung von einigen Tropfen einer dünnen Auflösung von Belladonnaextract auf die Conjunctiva hervorgebracht. Nach einiger Zeit (1 Viertelstunde) wird die Pupille sehr weit, und nun zeigt sich zugleich der mittlere Accomodationszustand des Auges ganz verändert, ohne dass jedoch das Vermögen selbst aufgehoben wäre. Die Beobachtungen über diesen Gegenstand sind sehr zahlreich. Die meisten Beobachtungen sprechen dafür, dass Weitsichtigkeit durch den Einfluss der Narcotisation entstehe, welchem Purkinje und ein Theil der Versuche von Volkmann widersprechen. Ich beziehe mich auf die Versuche, welche ich in meiner Schrift *über die Physiologie des Gesichtssinnes p.* 200 mittheilte. Ich sehe in jeder Entfernung gut. Merkwürdig war, dass durch das Einträufeln von Belladonnaextract in ein Auge, auch das andere afficirt war. Das gesunde Auge hatte, wenn beide Augen offen waren, einen Refractionszustand für die allernächsten Gegenstände und nur diese erschienen deutlich, während das kranke Auge in der Nähe nicht deutlich unterschied. Sollten beide Augen sich für deutliches Sehen in verschiedenen Fernen einrichten, so sah bald das eine, bald das andere deutlicher. Aenderte sich das kranke Auge für nahe Gegenstände, so wurde unwillkühr-

lich das gesunde für die nächsten eingerichtet. Es hatte also das kranke Auge bei seiner Weitsichtigkeit doch keineswegs das Vermögen der innern Einrichtung ganz eingebüsst. Auch war trotz der sehr weiten Pupille die Fähigkeit zur Bewegung der Iris in dem kranken Auge nicht ganz verloren gegangen. Das kranke Auge sah willkührlich bald in der Nähe, bald in der Ferne deutlicher, und bei dem Blick in die Ferne war die Iris fast ganz zurückgezogen, bei dem willkührlichen Blick in die Nähe verengerte sich wieder die Pupille um etwas durch Contraction der Iris. Sahen beide Augen gleichzeitig, so waren in der Regel Doppelbilder vorhanden und zwar war bald das Spectrum des gesunden, bald das des kranken Auges deutlich, je nachdem der gemeinschaftliche Nisus, das Object in die Accomodation des deutlichen Sehens des einen oder andern Auges brachte. Wenn das kranke, weitsichtige Auge sich für das deutliche Sehen der nahen Gegenstände mit Anstrengung einrichtete, waren die Bilder fast um $\frac{1}{3}$ des Natürlichen kleiner, während die undeutlichen Nebenbilder des gesunden Auges, das unter diesen Umständen nur dicht vor ihm selbst deutlich sah, ihre natürliche Grösse beibehielten.

Sieht man von den bisher erörterten Hypothesen ab, so würden noch diejenigen übrig bleiben, welche die Ursache der Accomodation im Innern des Auges und zwar in Veränderung der Stellung oder Convexität der Linse durch den Ciliarkörper oder die Zonula suchen. Obgleich sich diese Hypothesen nicht gerade widerlegen lassen, so lassen sie sich auch nicht geradezu beweisen, und das ist überhaupt der Stand der Frage, dass sich nämlich die Erscheinungen als auf verschiedene Weise möglich erklären lassen, dass aber die Richtigkeit irgend einer Erklärung nicht vorliegt. Unter diesen Umständen dürfte es zweckmässiger seyn, einige wichtigere Facta hervorzuheben, welche in keiner der erwähnten Erklärungen bekannt geworden, und zwar nicht über die Ursachen des Vermögens Aufschluss geben, doch über seinen innigen Zusammenhang mit andern Erscheinungen unterrichten. Die Untersuchungen, welche ich im Jahre 1826 über Doppeltsehen und Einfachsehen anstellte, führten mich zugleich auf den innern Zusammenhang zwischen den Bewegungen des Auges zur Accomodation und den Bewegungen der Augen oder Augenachsen selbst, einen Zusammenhang, der ebenso innig ist wie derjenige zwischen der Accomodation und den Bewegungen der Iris und derjenige, zwischen den Bewegungen der Iris und den Bewegungen der Augenachsen. Fast Alle, die über die inneren Veränderungen des Auges für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen geschrieben, haben diesen wichtigen Umstand übersehen. Porterfield war der einzige ältere Forscher, wie Volkmann zeigt, dem diese Erscheinungen bekannt waren.

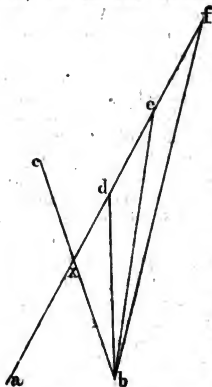
So wie die Iris sich mit der Stellung der Augen nach innen constant verengert, mit der Stellung nach aussen oder in parallele Richtung erweitert, so tritt bei der Stellung der Augen nach innen unwillkührlich die Accomodation des Auges für das Deutlichsehen der Nähe ein, und mit der Entfernung der Sehachsen hin-

wieder bis zum Parallelismus ändert sich auch die Accomodation des Auges für das Fernsehen bis zum Deutlichsehen in die weiteste Ferne. Es ist bekannt, dass man einen Gegenstand deutlich sieht, wenn man ihn fixirt, d. h. wenn man beide Augenachsen auf ihn richtet, aber es ist ebenso Thatsache, dass ein Gegenstand undeutlich gesehen wird und dass das Accomodationsvermögen dann verloren wird, wenn er ausser den Sehachsen liegt, selbst wenn die seitlichen Theile der Netzhaut sonst scharf sehen würden. Die falsche Stellung der Augenachsen bedingt eine falsche Accomodation, die falsche Accomodation bedingt die falsche Augenstellung und beiderlei Bewegungen sind durchaus in einer gewissen Grenze aneinander gebunden. Wird die Accomodation beim Sehen eines Gegenstandes für eine grössere oder geringere Ferne genommen, so erscheint er auch doppelt, d. h. dann vereinigen sich die Augenachsen nicht in ihm.



Ist z. B. *a* das Object, in welchem sich die Augenachsen vereinigten und sucht man es undeutlich zu sehen, indem man die Accomodation für den imaginären Gegenstand *d* eintreten lässt, so werden auch sogleich die Augen auf *d* gerichtet, daher *a* doppelt gesehen wird, indem es für *A* in *b*, für *B* in *c* erscheint. Diese Doppelbilder von *a* sind so undeutlich als es die für das fernere *d* eingerichtete Accomodation zulässt. In dem Mass als die Accomodation für *d* sich der Accomodation für *a* annähert, in demselben Mass werden auch die Doppelbilder nicht allein deutlicher, sondern auch einander genähert, bis sie bei der Accomodation für *a* zusammenfliessen, indem die Augenachsen dann in *a* sich kreuzen. Von den Doppelbildern gehört *b* dem entgegengesetzten Auge *A*, *c* dem entgegengesetzten Auge *B* an. Daher verschwindet *b*, wenn das Auge *A* geschlossen wird; und *c*, wenn das Auge *B* geschlossen wird. Jedesmal liegen die Doppelbilder auf der entgegengesetzten Seite, wenn die Accomodation für eine hinter dem Gegenstand *a* liegende Ferne erzwungen wird. Ist hingegen *d* der Gegenstand, auf welchen die Augen gerichtet sind, und erzwingt man eine Accomodation für den imaginären Punct *a*, so wird der Gegenstand *d* nicht allein undeutlich, sondern auch doppelt, denn die Augenachsen richten sich mit der Accomodation für *a*, auch unwillkührlich auf *a*; *d* liegt dann seitwärts der Augenachse *Ab* und seitwärts der Augenachse *Bc*, erscheint daher doppelt und undeutlich. Mit dem Grad der Undeutlichkeit nimmt die Entfernung der Doppelbilder zu. Die Doppelbilder liegen in diesem Falle auf derselben Seite, mit dem Auge, dem sie angehören, *d* das Doppelbild von *A*, liegt von *a* ab auf der Seite des Auges *A*, das Doppelbild von *d* für *B*, liegt vom einfachen *a* ab, nach der Seite von *B*, wie die Zeichnung erweisst.

Die genannten Wirkungen bedingen sich gegenseitig, selbst wenn ein Auge verdeckt ist, und dadurch lässt sich eben beweisen, wie sie von einander abhängig sind.



In beistehender Figur sei *a* das freie, *b* das geschlossene Auge, *x*, *d*, *e*, *f* seien die in der Sehachse des Auges *a* gelegenen Gegenstände verschiedener Entfernung. Sieht nun *a* den Punct *x* deutlich, so ist die Sehachse, auch des verdeckten Auges *b*, unwillkührlich auf den Punct *x* gerichtet, und wird das verdeckte Auge frei, so erscheint *x* einfach im Convergenzpuncte beider Sehachsen. Geht nun das Auge *a* aus dem Refractionszustande für *x*, in andere Refractionszustände für fernere Gegenstände der Linie *af* über, z. B. für *e*, für *f*, so wird stillschweigend das verdeckte Auge auch auf *e* oder *f* gerichtet.

Umgekehrt vermag man willkührlich, durch Veränderung der Neigung der Sehachsen, die Accomodation zu verändern, und diese Veränderungen sind so gleichzeitig, wie die Verengung und Erweiterung der Pupille mit der grössern oder geringern Neigung der Augenachsen. Sind z. B. die Augenachsen von *a* und *b* auf den imaginären Punct des Raums *d* gerichtet, und erscheint also *x* doppelt, für das Auge *a* in der Richtung *af*, für das Auge *b* in der Richtung *bc*, so sind die Doppelbilder *x* auch undeutlich, weil der Refractionszustand für *d* ist. Bleibt die Augenachse *af* unverändert, bewegt sich dagegen die Augenachse *bd* in die Stellungen *be*, *bf* u. s. w., so dass die Neigung der Sehachsen abnimmt, so verändert sich auch der Refractionszustand für *e*, *f* u. s. w. während die Doppelbilder *x* immer undeutlicher werden. Die eine Augenachse, nämlich die des offenen Auges kann unverändert bleiben, ändert sich aber die des geschlossenen Auges heimlich, so ändert sich auch der Accomodationszustand des offenen Auges. Vergl. Porterfield *a treatise on the eye. Edinb.* 1759. *I. p.* 410. Volkmann *a. a. O. p.* 144.

Bei grossen Entfernungen der Gegenstände können, da die Veränderung des Refractionszustandes zuletzt eine Grenze hat, den Augen aber jede beliebige Stellung zu einander gegeben werden kann, Ungleichheiten zwischen beiden eintreten. Z. B. wenn man den Mond mit nur einem Auge fixirt, das andere aber durch einen vorgehaltenen Gegenstand verdeckt ist, so trifft die Achse des verdeckten Auges, trotz der Accomodation für die Entfernung des Mondes, nicht genau in ihrer Stellung mit der Achse des offenen Auges im Monde zusammen. Denn wenn das verdeckte Auge frei wird, sieht es ein Doppelbild, worauf sehr schnell die Doppelbilder beider Augen sich vereinigen, indem das Schwanken der Augenachsen schnell corrigirt wird. Dieser Versuch, den ich angab,

ist einem Beobachter nicht gelungen. Ich erwähne ihn nochmals, weil er mir immer dasselbe Resultat giebt. TREVIRANUS Erklärung davon ist ungenügend.

Aus diesen Thatsachen ergiebt sich, dass die Veränderung der Augenachsen gegeneinander, Veränderung der Accomodation bedingt, selbst dann, wenn nur das geschlossene Auge seine Stellung gegen das offene verändert. Es ist gerade so mit den Bewegungen der Iris, bleibt das eine offene Auge unveränderlich nach einem Punct gerichtet, bewegt sich aber das geschlossene Auge, so ändert sich die Grösse der Pupille auch in dem offenen Auge durchaus, wie es die Convergenz der Sehachsen erfordert, und dadurch hat man eine scheinbare Willkühr über die Pupille, wovon im 1. Bd. gehandelt worden. Die Bewegung der Iris mit den Augenachsen sahen wir als eine Mitbewegung an, da sie nur eintritt bei der Wirkung der vom N. oculomotorius versehenen Muskeln, welcher auch die Bewegungsnerven der Iris durch die kurze Wurzel des Ganglion ciliare abgiebt. So mag auch die Accomodation eine Mitbewegung mit der Bewegung der Augenmuskeln nach innen seyn, die entweder durch einen nähern organischen Zusammenhang in der Nervenwirkung, oder durch Gewohnheit eingetreten ist. Die Mitbewegung der Iris mit der Bewegung der Augenachsen hat indess schwerlich ihren Grund in einer angewöhnten Verbindung.

Es giebt auch einigen geringen Einfluss der Willkühr auf die Accomodation, ohne dass die Achsen der Augen sich nothwendig verstellen, und dieser Umstand zeigt eben, dass jene Verbindung secundär, aber nicht eines die constante Ursache des Andern ist. PLATEAU hat eine Beobachtung an sich mitgetheilt, dass das Undeutlichwerden der Gegenstände durch Abänderung des Refractionszustandes auch ohne Veränderung der Stellung der Augen erzwungen werden kann, durch eine willkührliche Anstrengung des Auges. Auch ich bemerkte schon früher, dass manchmal bei grosser Anstrengung uns wirklich das Undeutlichsehen ohne Doppelbilder, jedoch nur sehr flüchtig zu gelingen scheine, erinnerte aber, dass auch bei dieser Art des Undeutlichsehens, ohne örtlich getrennte Doppelbilder diese doch vorhanden seien, nur zum Theil sich decken. Versuche, die ich seither an mir anstellte, bestimmen mich mit PLATEAU vollkommen übereinzustimmen, dass man nämlich, so sehr auch der Refractionszustand des Auges an die Veränderung der Neigung der Sehachsen geknüpft ist, doch mit grosser Uebung bei unveränderter Stellung der Sehachsen auf einen Gegenstand, diesen durch willkührliche Veränderung des Refractionszustandes undeutlich sehen kann, indem man den Refractionszustand für eine andere Ferne ändert. Die Iris verändert sich auch, wie PLATEAU zeigt, bei diesem Undeutlichsehen, indem die Pupille weit wird bei dem Refractionszustand für das deutliche Sehen in der Ferne und umgekehrt. Diess wäre ein Beispiel von fast rein willkührlicher Bewegung der Iris, in sofern in diesem Falle die Bewegung wenigstens nicht an die willkührliche Bewegung der Augenmuskeln nach innen und oben geknüpft ist. MUELL. *Archiv.* 1837. *CL.*

Es zeigen sich hier abermals, wie in allen vorher beschriebenen Phänomenen, die Bewegung der Iris und die Veränderung des Refractionszustandes auf das innigste mit einander verbunden, und doch sind wir nicht berechtigt, der Bewegung der Iris selbst einen mittelbaren Einfluss auf die Accomodation zuzuschreiben. Man hat schon vermuthet, dass die Bewegung der Iris auch auf das Corpus ciliare und so auf die Stellung der Linse wirken könne, in sofern das Corpus ciliare mit dem äussern Umfang der hintern Fläche der Iris stark verwachsen ist. Indess lässt sich doch diese Hypothese bestimmt widerlegen. Denn die Veränderungen der Iris werden auch durch das Licht bestimmt. Wir sehen aber dasselbe Object deutlich, mag es hell beleuchtet und demgemäss die Pupille enger, oder das Auge dabei beschattet und die Pupille weit seyn. Vergl. Volkmann *a. a. O. p.* **156.** Es bleibt daher immer noch am wahrscheinlichsten, dass die Accomodation von einem Organ abhängt, das sich zwar leicht mit der Iris zugleich bewegt, aber auch eine gewisse Unabhängigkeit davon behaupten kann. In der That lässt sich per exclusionem am wahrscheinlichsten machen, dass das Corpus ciliare diese Beweglichkeit besitze und auf die Stellung der Linse einwirke, aber an positiven Beweisen für die Contractilität des Corpus ciliare fehlt es gänzlich.

Nach der Extraction der Linse durch die Staaroperation ist das Accomodationsvermögen, sowohl nach Young's als Volkmann's Beobachtung vermindert.

IV. Von der Myopie und Presbyopie, den Mitteln sie zu verbessern und von den Augengläsern.

1. Undeutlichkeit der nächsten Objecte. Wirkung der Diaphragmen.

Das deutliche Sehen in der grössten Nähe dicht vor dem Auge hat bei allen Menschen eine Grenze. Gegenstände, welche nur 1—3 Zoll oder noch weniger vom Auge entfernt sind, bringen kein deutliches Bild mehr hervor, weil die Vereinigung ihrer Lichtstrahlen bei allen Menschen hinter die Netzhaut fällt. Sind die Gegenstände klein, so erzeugen sie nur einen Schimmer, und die entfernten Gegenstände werden durch diesen Schimmer hindurchgesehen, obgleich der vor das Auge gehaltene kleine Gegenstand den mittlern Theil der Pupille verdeckt. Das Sehen der entfernten Gegenstände, durch den Schimmer des nächsten, erklärt sich daraus, dass wenn auch der vorgehaltene kleine Körper diejenigen Strahlen des entfernten Körpers abhält, welche durch den mittlern grössten Theil der Pupille durchgehen sollten, doch noch am Rande des vorgehaltenen Körpers, Strahlen des entfernten Körpers vorbeigehen, welche ins Auge gelangen. Hieraus ergiebt sich als Bedingung, dass wenn ein entfernter Gegenstand durch den Schimmer eines nahe vor das Auge gehaltenen hindurch gesehen werden soll, der letztere kleiner als die Pupille sein müsse, der entferntere wird dann durch die Randstrahlen

gesehen. Selbst in dem Falle, dass der nächste Körper die Pupille fast ganz deckt, werden doch noch die peripherischen Strahlen der Lichtkegel des entfernten Körpers, durch Beugung an den Rändern des vorgehaltenen Körpers ins Auge gelangen und ein Bild hervorbringen.

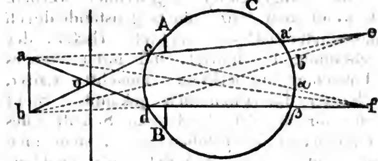
Man sieht einen entfernten Gegenstand auch durch die im äussern Umfange der Linse durchgehenden Strahlen oder Randstrahlen, wenn man ihn am Rande eines andern vorgehaltenen Körpers vorbei sieht. Es ist bekannt, dass wenn man einen fernen Körper betrachtend, einen zweiten nähern von der einen Seite vorschiebt, der entferntere Körper sich etwas verschiebt und zu erweitern scheint, so bald ihm der Rand des nächsten nahe kommt. Diess scheint theils von dem Sehen des fernen Körpers durch Randstrahlen der Linse, theils auch von der Beugung des Lichtes am Rande des vorgehaltenen Körpers abzuhängen.

Der Schimmer, welchen ganz nahe kleine Gegenstände statt eines Bildes hervorbringen, wird um so grösser seyn, je weiter die Pupille ist. Denn da der Zerstreuungskreis für jeden Punct des Gegenstandes ein Durchschnitt durch den Lichtkegel ist, welcher durch die Pupille durchgeht, so wird auch der Zerstreuungskreis für jeden Punct des Gegenstandes um so grösser seyn, je weiter die Pupille ist. Der Schimmer eines ganz nahen, vor das Auge gehaltenen Gegenstandes, z. B. einer Nadel entsteht aber durch die sich deckenden Zerstreuungskreise aller Puncte des Bildes. Hieraus erklären sich einige interessante Phänomene. Hält man eine Stecknadel in der Entfernung vom Auge, dass sie zwar noch ein Bild, aber ein nebeliges hervorbringt, so ist die Grösse dieses Schimmers grösser oder kleiner, je nachdem man das Auge beschattet oder beleuchtet, d. h. je nachdem die Iris sich erweitert oder zusammenzieht. Hieran hat man eine herrliche Gelegenheit die Bewegung der Iris des eigenen Auges in einem Gesichtsphänomen zu sehen.

Unter gewissen Bedingungen sieht man aber auch noch in der grössten Nähe vor dem Auge deutlich, und die Gegenstände sehr vergrössert, ohne dass Augengläser angewendet werden. Diess geschieht jedesmal, wenn man ganz nahe Gegenstände durch eine feine Oeffnung eines Kartenblattes betrachtet. Henle, der sich viel mit dieser Erscheinung beschäftigt, hat mich auf das Phänomen und seine Ursachen aufmerksam gemacht. Lecat, Monro und Priestley hatten das Phänomen gekannt. Sieht man z. B. die ganz dicht vor das Auge gehaltene Schrift eines Buchs an, so erkennt man keinen Buchstaben mehr, sieht man sie aber in derselben Nähe durch die mit Nadel gemachte Oeffnung eines Papierblattes, das man dicht vor das Auge hält, an, so erscheint sie sogleich sehr deutlich und die Buchstaben und ihre weissen Zwischenräume sind stark vergrössert. Es könnte daran gedacht werden, dass das Deutlichsehen von der Isolirung der Centralstrahlen der nahen Objecte durch die enge Oeffnung abhänge, und dass die Centralstrahlen, wegen grösserer Dichtigkeit des Kernes der Linse, früher zur Vereinigung gebracht würden,

(während sie bei einer überall gleich dichten Linse später, als die Randstrahlen zur Vereinigung kommen). Aber dann dürfte die Grösse der Objecte nicht wachsen. Wendet man dagegen ein, dass die Vergrösserung der Gegenstände nur scheinbar sei, indem man beim Sehen der nahe gehaltenen Schrift ohne die Kartenöffnung, nur den Kern der Zerstreuungsbilder, nicht aber die ganze Grösse der Bilder in Anschlag bringe, so wird dieser Einwurf leicht durch eine nähere Vergleichung, der gleichzeitigen Bilder beider Augen widerlegt, wovon das eine die ganz nahen Buchstaben frei, das andere durch die Kartenöffnung ansieht. Denn die weissen Spatien, sowie die Buchstaben erscheinen dem letztern grösser, und indem man beide Bilder nebeneinander sieht, erkennt man, dass auf einen Raum des einen Bildes, auf welchen 3 Linien Schrift gehen, im andern Bilde nur 2 gehen. Lecat (*traité des sens. p.* 305.) und Priestley (*Geschichte der Optik p.* 391.) leiten das Phänomen von der Beugung des Lichtes an den Rändern der Kartenöffnung ab und der erstere beruft sich auf die Veränderung des Umrisses eines fernen Körpers, den man am Rande eines Stäbchens visirt. Der Rand des fernen Körpers erweitert sich nämlich, wenn man den vorgehaltenen Stab vorschiebt. Allerdings lässt sich die Schärfe, womit man die durch eine Kartenöffnung gesehenen allernächsten Objecte erkennt, durch Inflexion erklären. Bei der Inflexion oder richtiger Diffraction des Lichtes wird es nach zwei Seiten hin von seiner Richtung abgelenkt. Der äussere Theil der am Rande der Kartenöffnung inflectirten Strahlen fällt noch weiter hinter die Netzhaut, als es schon die Strahlen von sehr nahen Gegenständen thun. Diese Strahlen bringen dann gar kein Bild mehr hervor. Der innere Theil der am Rande der Kartenöffnung inflectirten Strahlen kömmt nun näher zur Vereinigung, fällt also nicht mehr hinter die Netzhaut, sondern auf dieselbe und daher die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes, trotz der geringen Menge des dazu nöthigen Lichtes. Die Grössenzunahme des Bildes lässt sich aus dieser Theorie nicht gut einsehen.

Es lässt sich mit Henle noch eine andere Erklärung der Erscheinung aufstellen. *ab* sei der dicht vor das Auge gehaltene Körper, *AB* die brechenden Medien, *C* die Nervenhaut. Der Lichtkegel des Punctes *b* kommt in *e*, der Lichtkegel von *a* in *f* zur Vereinigung. Dann ist *be* der Hauptstrahl des Lichtkegels von *b*, *af* der Hauptstrahl des Lichtkegels von *a*. Die Vereinigungspuncte *e* und *f* liegen hinter der Netzhaut, weil das Object dem Auge zu nahe ist. *b* wird also mit dem Zerstreuungskreis $a'b'$ gesehen, *a* wird mit dem Zerstreuungskreis $\alpha\beta$ gesehen. Wird nun das Kartenblatt mit der kleinen Oeffnung *o* zwischen das nahe Object und das Auge geschoben, so werden die Lichtkegel abgeschnitten



bis auf die Lichtbündel *bc* und *ad*, welche durch die Oeffnung *o* durchgehen. Das Bild von *b* wird daher ohne Zerstreuungskreis in a', das Bild von *a* ohne Zerstreuungskreis in β gesehen. Die Beugung kann mitwirken, und bewirken, dass das durch die Kartenöffnung durchgehende fadenartige Lichtbündel nur einen Punct auf der Netzhaut darstellt.

Das Bild erscheint grösser, da die Entfernung der peripherischen Strahlen a' und β beider Kegel grösser ist, als die Entfernung der Hauptstrahlen beider Kegel.

2. Kurzsichtigkeit, Fernsichtigkeit, Brillen und Optometer.

Manche Menschen besitzen das Vermögen der inneren Veränderung des Auges für das Sehen in verschiedenen Fernen gar nicht, oder doch so wenig, dass sie nur in einer bestimmten Entfernung unterscheiden, kurzsichtige oder fernsichtige sind. Es ist unmöglich einem solchen zu beweisen, dass das Auge die Fähigkeit habe sich für das Sehen in verschiedenen Fernen einzurichten, und so mag es Treviranus und noch Andern gegangen seyn. Die Kurzsichtigkeit wird am häufigsten im mittlern Lebensalter beobachtet. Im Alter trifft man häufiger Fernsichtigkeit. Man sieht die Ursache dieser Fehler sehr oft in den brechenden Medien, in der Form der Hornhaut und in der That ist die Hornhaut der Greise flacher als in der Jugend, aber die Hornhaut der Kinder ist am gewölbtesten und doch leiden die Kinder, wie Volkmann bemerkt, nicht häufig an Kurzsichtigkeit. Die Myopie und Presbyopie mögen richtiger in Hinsicht ihrer nächsten Ursache von einem Mangel des Accomodationsvermögens oder von grosser Schwäche dieses Muscularactes abgeleitet werden. Dann sieht natürlich das Auge nur in einer bestimmten Sehweite deutlich, welche der Form der brechenden Medien des Auges am angemessensten ist. Dass die Myopie und Presbyopie mehr in der Veränderung oder dem Verluste des Vermögens der Accomodation liegt, sieht man daraus, dass man sich methodisch die Kurzsichtigkeit anerziehen kann, wenn man das Fernsehen vernachlässigt. Kinder machen sich kurzsichtig, dass sie sich beim Lesen und Schreiben mit dem Gesicht zu dicht aufs Papier legen. Der beständige Gebrauch des Mikroskops kann kurzsichtig machen und macht es oft vorübergehend für einige Stunden. Auch die Brillen wirken in dieser Hinsicht nachtheilig, indem sie das Auge entwöhnen, durch Accomodation in der Nähe und Ferne deutlich zu sehen.

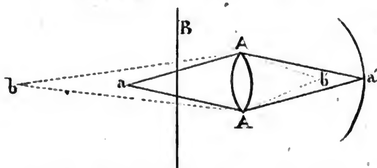
Zuweilen haben beide Augen einen andern mittlern Refractionszustand fürs ganze Leben, nicht immer ein Unterschied in der Pupille beobachtet wird. Dieser Zustand kann auch anerzogen werden durch vorzugsweisen Gebrauch des einen Auges beim Sehen naher Gegenstände, beim Sehen durch das Mikroskop und dergleichen. Am schnellsten tritt diese Ungleichheit durch Narcotisation eines Auges ein, vermöge einiger Tropfen von der Auflösung des Belladonnaextractes. Siehe oben p. 333. In allen diesen Fällen können beide Augen, trotz ihres ungleichen mittlern Refractionszustandes, oder ihrer mittlern Sehweite, doch

noch das Vermögen der Accomodation besitzen, auch wirkt die willkührliche Accomodation des einen Auges auf das andere, aber beide Augen bleiben sich ungleich.

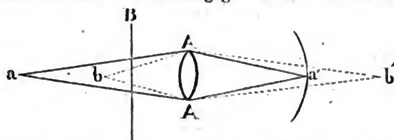
1 Drücken beide nebenbei stehende Zahlenreihen das Stei-
2 gen der Accomodation in beiden Augen aus, so ist
3 1 mit der Accomodation 3 im Auge *A*, die Accomodation
4 2 1 im Auge *B* gleichzeitig, steigt *A* bis zu 5, so steigt *B*
5 3 um ebenso viel, aber nur bis 3. Das Auge *A* sieht mit
6 4 der Accomodation von 1 das Ferne deutlich, während
7 5 *B* nichts unterscheidet. Innerhalb einer gewissen Grenze
8 6 können vielleicht beide zusammen deutlich sehen, indem
9 7 das nebelige Bild des einen Auges dasjenige des andern Au-
10 8 ges nicht stört, und beide sich decken, aber bei dem Re-
9 fractionszustande für die Nähe bleibt das Auge sehkräftig,
10 was für die Ferne zurückblieb. *A* hat vielleicht bei der
11 Accomodation 10 die Grenze seiner Sehweite erreicht,
12 während *B* noch mit 11, 12 deutlich sieht. Die Un-
A B gleichheit des Refractionszustandes ist bei manchen Menschen die Ursache, dass sie zu schielen anfangen, indem sie das Auge von der brauchbarsten, mittlern Sehweite bevorzugen und das andere vernachlässigen, dessen Bild sie gar nicht stört. Schon wenn man bei gleicher Sehweite beider Augen, mit dem einen Auge durch eine Brille, mit dem andern ohne Brille denselben Gegenstand sieht; vereinigen sich die Achsen beider Augen nicht in dem Object und man sieht leicht doppelt, wie wenn man mit beiden Augen durch verschieden starke Brillengläser sieht. Noch mehr entfernen sich die Doppelbilder von Nichtvereinigung der Sehachsen im Object, wenn der Refractionszustand eines der beiden Augen durch Belladonnaextract verändert worden, wo dann bei einer gewissen Sehweite des einen Auges, das Bild des andern schwach und undeutlich nebenbei schwebt. Die Ursache dieser Entzweiung ergiebt sich aus dem am Schluss des vorigen Artikels Verhandelten. Der Refractionszustand wirkt auf die Stellung der Augenachsen ein. Wie das Bild eines schwachsichtigen Auges seine störende Einwirkung verliert, soll später erörtert werden, wenn wir die Thatsachen kennen lernen, welche beweisen, dass die Sehfelder beider Augen in einer Art von Wettstreit sich befinden, bei welchem die Nerventhätigkeit bald mehr dem einen, bald mehr dem andern sich zuwenden kann und die Herrschaft zwischen beiden oft wie der Wagebalken schwankt.

Wie die Brillengläser die Myopie und Presbyopie verbessern, ist nun mit einigen Bemerkungen zu erläutern. Das fernsichtige Auge wird durch eine convexe Brille, das nahsichtige durch eine concave Brille verbessert. Bei dem erstern vereinigen sich die Strahlen ferner Gegenstände auf der Retina, aber die Strahlen näherer und nächster Gegenstände, welche eine spätere Vereinigung erleiden, vereinigen sich erst hinter der Retina. Ein convexes Glas verbessert diesen Fehler, indem es die Strahlen naher Gegenstände näher, d. h. auf der Retina selbst zur Vereinigung bringt. Bei dem nahsichtigen Auge ist es umgekehrt. Die Strahlen naher Gegenstände vereinigen sich hier auf der Re-

tina und bringen ein deutliches Bild hervor. Die Strahlen ferner Gegenstände, deren Vereinigungsweite näher ist, als die der nahen, vereinigen sich hingegen in diesem Auge vor der Retina und bringen Zerstreuungskreise auf der Retina hervor. Das concave Brillenglas verbessert diesen Fehler, indem es die Lichtstrahlen mehr zerstreut, wodurch sie später und also auf der Retina zur Vereinigung kommen.



Beistehende Figur stellt die brechenden Medien eines nahsichtigen Auges dar. Die Lichtstrahlen des nächsten Gegenstandes *a* vereinigen sich auf der Retina *a'*, die Lichtstrahlen des fernen Gegenstandes *b* werden sich in *b'* vor der Retina vereinigen. Ein zerstreuendes Glas *B* bringt die Strahlen *Ab'*, *Ab'* in die Richtung von *Aa'* und *Aa'*, daher wird der ferne Gegenstand *b*, nur mittelst des Zerstreuungsglases in *a'* deutlich gesehen.



Ferner *AA* seien die brechenden Medien eines fernsichtigen Auges, dann wird der ferne Gegenstand *a* sein Licht in *a'*, d. h. auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen. Der nahe Gegenstand *b* wird hingegen sein Licht hinter der Netzhaut in *b'* vereinigen. Das Sammelglas *B* bringt die Strahlen des nahen Gegenstandes *b* zu stärkerer Convergenz, so dass sie statt in *b*, durch die Brille zu *a'*, d. h. auf der Netzhaut vereinigt werden.

Zur Bestimmung der mittlern Sehweite der Menschen dient der Optometer, welcher sich auf den Scheiner'schen Versuch gründet. Man sieht nämlich, bei welcher Entfernung vom Auge man durch zwei Oeffnungen eines Blattes, deren Entfernung kleiner ist als die Weite der Pupille, einen feinen Gegenstand mit einem Auge einfach sieht. Oder man sieht bei welcher Entfernung vom Auge, bei angespannter Betrachtung eines Fadens durch zwei Kartenlöcher, das Doppelbild des Fadens sich kreuzt oder vereinigt. Young's Optometer. Diess ist die mittlere Sehweite. Vor dieser und hinter ihr wird ein Gegenstand durch die genannten Oeffnungen doppelt gesehen, d. h. sein Bild fällt vor oder hinter die Netzhaut. Doch ist die Anwendung immer sehr unvollkommen, da die Diffraction des Lichtes beim Durchgang an den Rändern der feinen Oeffnungen Beugungsphänomene bewirkt.

3. Veränderung der Sehweite durch Vergrösserungsgläser.

Die Wirkung der Gläser durch Veränderung der Sehweite auf Vergrösserung des Bildes kömmt nun zunächst in Betracht.

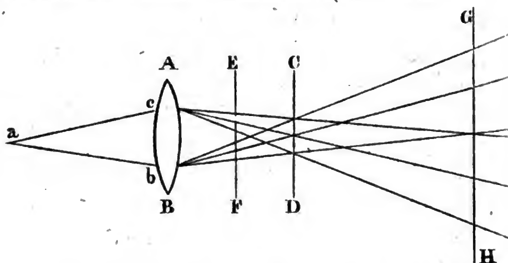
Die einfachste Art derselben sind die Loupen oder Mikroskope. Wird ein kleiner Gegenstand dem Auge bis dicht vor das Auge genähert, so erscheint er sehr gross, aber Alles ist undeutlich, weil die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen hinter der Netzhaut liegt. Die Wirkung einer Linse zwischen Object und Auge ist die Vereinigungsweite zu verkürzen. Fällt diese bei der gehörigen Stellung der Linse auf die Netzhaut, so erscheinen alle Details deutlich und das Object in der Grösse, wie es schon vorher erschien, als es ohne Loupe dicht vor das Auge gehalten wurde. Die Vergrösserung ist in diesem Falle nur scheinbar, sie ist blosse Folge der grossen Nähe des Objectes, die Wirkung der Linse ist blosse Deutlichkeit bei einer so sehr vergrössernden Annäherung. Beim Teleskop und Mikroskop fällt das Bild gar nicht mehr ins Auge, sondern vor dasselbe. An dieser Stelle kommen die Lichtstrahlen zur Vereinigung des Bildes, da es aber hier nicht aufgefangen wird, so gehen sie wieder divergirend fort, gerade so als ob hier das Object wäre, von welchem sie divergirend ausgegangen sind. Hierauf beruht sowohl die Vergrösserung als die Schärfe dieser Bilder. Denn der Sehwinkel eines vor dem Auge schwebenden Bildes ist grösser als der Sehwinkel des Objectes selbst. Nimmt das vor dem Auge schwebende Bild die Distanz der natürlichen scharfen Sehweite ein (8″), so erscheint das Object bei der Vergrösserung zugleich so scharf, als überhaupt Gegenstände der natürlichen schärfsten Sehweite.

Die Teleskope sind zur Vergrösserung und zum deutlichen Sehen der fernsten Gegenstände, die Mikroskope zur Vergrösserung und zum deutlichen Sehen der Gegenstände in der Nähe eingerichtet. Die Zahl der dazu angewandten Gläser ist sehr verschieden. Befindet sich hinter dem ersten Glase ein zweites, so verändert dieses entweder das Bild und seinen Ort, oder wenn das Bild des ersten Glases vor das zweite fällt, so vertritt dies Bild die Stelle eines Objectes für das zweite Glas. Das Bild des zweiten kann durch ein drittes Glas wieder verändert werden oder dem dritten Glas als Object dienen. Das vom Object selbst das Licht empfangende Glas heisst Objectivglas, das dem Auge zugewandte Glas heisst Ocular. Beim Mikroskop wird das durch eine oder mehrere Linsen hervorgebrachte physische Bild durch das Ocular, wie durch eine Loupe ein Gegenstand angesehen. Die Helligkeit des Bildes hängt von der Menge des Lichtes ab, welches das Objectiv vom Objecte aufnimmt, oder beim Mikroskop, welches dem Objecte durch künstliche Beleuchtung zugeworfen wird. Ist diese Lichtmenge, worin das Bild des Objectes im Teleskop und Mikroskop erscheint, grösser oder kleiner, als das Object ohne diese Instrumente in die Pupille des Auges wirft, so ist auch die Helligkeit des Bildes grösser oder kleiner, als beim Sehen des Objectes ohne das Instrument. Beim Sehen durch ein Teleskop ist das Bild heller als das Object allein; weil das Objectivglas mehr Licht vom Object aufnimmt und zum Bilde verwendet, als die Pupille des Auges beim einfachen Sehen vom Object aufnimmt.

V. Von der Chromasie und Achromasie des Auges.

(J. Mueller *Physiol. des Gesichtssinnes* 195. 414. Tourtual. *die Chromasie des Auges* Meckel's *Archiv* 1830. 129.)

a. *Chromatische Linsen.* Wenn gleich die durch eine Linse gebrochenen Strahlen eines leuchtenden Gegensatzes bei Vermeidung der Aberration von der Sphäricität ein scharfes Bild hervorbringen, sobald sie in der Vereinigungsweite des Bildes aufgefangen werden, so gilt diess doch mit vollkommner Schärfe nur, wenn die Lichtstrahlen von gleichartigem farbigem Lichte sind. Denn eine absolute Vereinigung des ungleichartigen oder gemischten weissen Lichtes in einem Puncte durch Brechung ist selbst bei der Vermeidung der Aberration von der Sphäricität ohne weitere Hülfsmittel unmöglich, weil die im weissen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen eine ungleiche Brechbarkeit besitzen, also auch eine verschiedene Vereinigungsweite haben.



Ist *a* der leuchtende Punct, *AB* die Linse, so werden die im Lichtkegel *abc* enthaltenen farbigen Strahlen ungleich gebrochen, so dass z. B. die violetten Strahlen am meisten brechbar zuerst, die gelben später, die rothen zuletzt zur Vereinigung kommen. Statt eines ungefärbten Punctes wird auch bei der grössten Concentration des Lichtes in *CD* ein Zerstreuungskreis erscheinen, dessen Mitte wegen der Deckung des farbigen Lichtes weiss, dessen Ränder durch die frei hervortretenden äussersten Grenzen der violetten und rothen Strahlen purpurroth erscheinen. Die Farbenerscheinung wird zunehmen, wenn das Bild nicht in der mittlern Vereinigungsweite *CD*, sondern vor oder hinter derselben in *EF* oder *GH* aufgefangen wird. Wird zum Beispiel das Bild in *EF* aufgefangen, so bilden die jetzt äussersten rothen Strahlen, welche von keinen andern farbigen Strahlen gedeckt werden, einen rothen Farbenkreis, die äussersten gelben, welche nur von roth gedeckt werden, einen gelbrothen Kreis, der in dem rothen enthalten ist, um die farblose Mitte, wo sich die Kegel der verschieden farbigen Strahlen decken. Wird das Bild in *GH* aufgefangen, so bilden die äussersten, ungedeckten, violetten Strahlen den äussersten Farbenkreis, auf welchen nach innen die

23 *

an Brechbarkeit zunächst folgenden blauen Strahlen folgen, während die Mitte weiss ist.

Die Farbenerscheinung ist, wenn die durch ein Collectivglas durchgehenden Strahlen in der Vereinigungsweite des Bildes aufgefangen werden sehr gering und nur kaum bemerkbar sind die Ränder vom Bilde eines weissen Feldes auf dunkelm Grunde, purpurroth gefärbt, je weiter aber die auffangende Tafel sich von der Vereinigungsweite entfernt, um so stärker wird ausser den zunehmenden Zerstreuungskreisen des weissen Bildes sein farbiger Saum. Kunzek *die Lehre vom Lichte p.* 157. und Tourtual a. a. O.

b. *Achromatische Linsen.* Die Farbenzerstreuung eines Prisma wird durch ein zweites Prisma von gleichem brechendem Winkel und gleicher Farbenzerstreuungskraft aufgehoben. Beide Prismen zusammen bilden ein brechendes Medium mit parallelen Ebenen, aus welchem die Lichtstrahlen wie durch eine ebene Glastafel unter denselben Winkeln austreten, wie sie eingetreten sind. Dollond hat indess entdeckt, dass das Farbenzerstreuungsvermögen dem Brechungsvermögen der Medien nicht proportional ist, und dass es Medien giebt, welche stark das Licht brechen aber wenig zerstreuen und umgekehrt. Flintglas bricht das Licht mehr als Crownglas, zerstreut aber in noch höherm Grade die farbigen Strahlen. Diess führte zur Construction achromatischer Prismen durch Verbindung von Prismen ungleicher Brech- und Zerstreuungskraft. Ein Prisma von Crownglas verbunden mit einem Prisma aus Flintglas von gleichem Brechungswinkel, lenkt die parallel eintretenden Strahlen stärker ab, lässt sie aber nicht farblos austreten wie zwei mit einander verbundene Crownglasprismen von gleichem Winkel, vielmehr werden die Strahlen durch den Ueberschuss des Farbenzerstreuungsvermögens des Flintglases farbig zerstreut. Wird nun aber der Brechungswinkel des Prisma von Flintglas so weit vermindert, dass beide Prismen gleich stark das Licht zerstreuen, so hebt das eine Glas die Farbenzerstreuung des andern auf, während doch die Ablenkung oder einfache Brechung des Lichtes wegen der verschiedenen Winkel beider Prismen nicht gegenseitig aufgehoben wird, sondern bleibt. Ein achromatisches Prisma besteht aus einem Crownglasprisma von einem Brechungswinkel von 30°, und einem Flintglasprisma von 19° Brechungswinkel Hieraus begreift sich die Construction von achromatischen Doppellinsen, welche ihre Farbenzerstreuung gegenseitig aufheben. Die vollkommenste achromatische Doppellinse hebt übrigens nicht alle Farbenzerstreuung auf, wenn das Bild nicht in der Vereinigungsweite aufgefangen wird, und die Farbensäume erscheinen an dem besten Fernrohr, wenn das Ocular über die Grenzen des deutlichen Sehens verrückt wird. Kunzek a. a. O. 172 — 177.

c. *Achromasie des Auges.* Das Auge des Menschen ist achromatisch, so lange das Bild in der Vereinigungsweite desselben aufgefangen wird, oder so lange sich das Auge nach den Entfernungen des Gegenstandes einrichtet. Worin die Achromasie ihren Grund hat, lässt sich mit Bestimmtheit nicht angeben, wohl aber die Möglichkeit der Achromasie des Auges aus dem optischen

Bau desselben einsehen. Seine brechenden Mittel sind von ungleicher Brechkraft, von ungleichen Convexitäten und ungleicher chemischer Constitution. Das eine ist die Linse mit ungleichen Convexitäten, das zweite die Cornea mit dem Humor aqueus. Letztere bilden zusammen eine convex-concave Linse, deren Brechkraft von der Linse verschieden ist. Vielleicht ist die Farbenzerstreuungskraft beider brechender Mittel ihrer Brechkraft nicht proportional und hierdurch die Achromasie bedingt. Die achromatischen und aplanatischen Doppelobjective, welche der jüngere Herschel angegeben, haben einige entfernte Aehnlichkeit mit den brechenden Medien des Auges in der Form und Zusammensetzung. Sie bestehen aus einer vordern biconvexen Crownglaslinse von ungleichen Halbmessern und zwar mit nach aussen gekehrter convexern Fläche und aus einer hintern convex-concaven Flintglaslinse, deren concave Seite der Crownglaslinse zugewendet ist.

d. *Chromasie des Auges.* Nur fehlerhafter Weisse wird dem menschlichen Auge eine vollkommne Achromasie zugeschrieben. Die Chromasie erscheint mehr oder weniger deutlich, sobald sich das Bild nicht in der Vereinigungsweite des Bildes befindet. Die dioptrischen Farbensäume, welche durch die brechenden Medien unseres Auges entstehen und in einem gewissen Grade willkührlich hervorgebracht werden können, scheint der Pater Scheiner zuerst beobachtet zu haben. Ausführlichere Beobachtungen darüber enthalten Comparetti *observationes dioptricae et anatomicae comparatae de coloribus apparentibus visu et oculo. Patav.* 1798. 4. ein Aufsatz über physiologische Farbenerscheinungen in Schweigger's *Journal d. Chem. u. Phys. B.* 16., meine Schrift zur *Physiologie des Gesichtssinnes Leipz.* 1826. *p.* 194 — 204. und Tourtual's treffliche Abhandlung in Meckel's *Archiv* 1830. Um die dioptrischen Farbensäume an sich selbst bei einem ganz gesunden Zustande des Auges zu beobachten, muss man weisse Felder auf schwarzem Grunde, oder schwarze Felder auf weissem Grunde so ansehen, dass man einen nähern oder fernern Gegenstand fixirt, wobei das Feld undeutlich mit Zerstreuungskreisen gesehen wird und aus später zu erwähnenden Gründen sich in zwei Doppelbilder entwickelt, welche sich um so weiter von einander entfernen, je mehr die Augenachsen von der Fixation des Feldes abweichen. Je undeutlicher die Felder werden, um so stärker werden auch die Farbensäume. Im Anfange des Experimentes bemerkt man sie nicht, durch Uebung und Aufmerksamkeit gelangt man dahin, den äusserst schmalen farbigen Saum um die Felder zu erkennen. Am leichtesten lässt sich das undeutliche Sehen eines Gegenstandes durch Fixation der Augenachsen auf einen viel nähern oder viel fernern körperlichen oder idealen Punct im Raum hervorbringen, daher wird man auch die Farbensäume am leichtesten auf diese Weise gewahr. Der Geübte kann jedoch auch, wenn er nur mit einem Auge sieht und das andere geschlossen ist, das undeutliche Sehen willkührlich hervorbringen, indem er den Refractionszustand für einen fernern oder nähern Punct im Raum eintreten lässt. Auf diese Weise bringt man die Farben-

säume auch mit einem Auge und ohne Doppelbilder des Gegenstandes hervor. Das Folgende enthält die Resultate meiner eigenen Beobachtungen.

1. Betrachtet man mit einem Auge ein weisses Feld auf schwarzem Grunde, so dass der Refractionszustand einem fernern Puncte als dem Felde entspricht, so wird das undeutliche weisse Feld auf schwarzem Grunde mit einem leichten und feinen Farbensaume umgürtet erscheinen, dessen Farben vom Weissen nach dem Schwarzen violet, blau, gelb, roth sind. Meistens ist nur das Blaue und das Gelbe einigermassen deutlich.

2. Betrachtet man ein weisses Feld auf schwarzem Grunde, so dass der Refractionszustand einem nähern Gegenstande als dem angeschauten entspricht, so ist der Farbensaum des undeutlichen Bildes in eben der Folge roth, gelb, blau, violet aber umgekehrt, nämlich violet, blau ist dem Schwarzem, gelb, roth dem Weissen näher.

Sieht man mit beiden Augen undeutlich und also Doppelbilder, so ist, wenn die Augenachsen sich hinter dem Objecte der Doppelerscheinung kreuzen, die Folge der Farben wie im ersten Falle. Kreuzen sich die Augenachsen vor dem Objecte der Doppelerscheinung, so folgen sich die Farben wie in dem zweiten Falle.

Sehr lebhaft erscheinen auch die Farbensäume an den Rahmen der Fenster, wenn man durch diese blickend fernere Gegenstände fixirt, oder mit auf das Fenster gerichteten Augen einen nähern Gegenstand, den vorgehaltenen Finger, deutlich ansieht.

Die Farbensäume erleiden eine Verunreinigung durch das Vorspringen der subjectiven Nachbilder am Rande des objectiven Bildes bei einer leisen seitlichen Bewegung des Auges. Das subjective Nachbild eines schwarzen Feldes auf weissem Grunde ist weiss, eines weissen Feldes grau, eines farbigen Feldes die complementär entgegengesetzte Farbe. Bei längerem fixirendem Betrachten eines Feldes deckt das physiologische Nachbild das objective Bild, wird aber das Auge ganz wenig zur Seite bewegt, so kömmt der Rand des physiologischen Nachbildes am Rande des objectiven Bildes zum Vorschein. Diese Säume, welche bloss auf der Seite erscheinen, nach welcher das Auge schwankt, muss man wohl von den dioptrischen Farbensäumen unterscheiden, welche objectiv sind und ihren Grund in den brechenden Medien des Auges haben. Comparetti hat beide gemischte Phänomene beschrieben. Das Sehen der Farbensäume hat wie man sieht ganz objective Ursachen im Auge, und an die Veränderungen in der Nervenhaut, wovon in pathologischen Werken hier und da die Rede ist, ist hier nicht zu denken. Tritt das Phänomen pathologisch ein, so ist es nicht Folge einer Veränderung im Acte des Sehens, sondern einer Veränderung im Vermögen den Refractionszustand des Auges für verschiedene Fernen abzuändern. Manche klagen über das Sehen der Farbensäume bei sonst ungestörter Sehkraft, ohne alle Anlage des Auges zu krankhaften Veränderungen der Netzhaut, ohne Anlage zur Amblyopie und zum schwarzen Staar. Hieher gehören auch die rothen Säume schwar-

zer Schrift bei einer durch Affect, geistige Anstrengung, Schläfrigkeit eingetretenen Lähmung der inneren Veränderungen des Refractionszustandes, die blutigen Würfel u. s. w. Sehr stark werden die dioptrischen Farbensäume, wenn man durch Belladonnaextract die inneren Veränderungen für das deutliche Sehen in verschiedenen Fernen aufhebt. Siehe das Nähere in meiner angeführten Schrift p. 203.

Die farbigen Lichthöfe müssen von den dioptrischen Farbensäumen unterschieden werden.

III. Capitel. Von den Wirkungen der Nervenhaut, des Sehnervens und des Sensoriums beim Sehen.

Alle im vorigen Capitel untersuchten Erscheinungen ergeben sich aus dem optischen Baue des Auges, d. h. aus der Construction der vor der Nervenhaut liegenden, durchsichtigen Media. Eine grosse Anzahl von Erscheinungen findet hingegen ihre Erklärung nicht in den optischen Mitteln des Auges, sondern in den Lebenseigenschaften der Nervenhaut, und in ihrer Wechselwirkung mit dem Sensorium. Dahin gehört nicht bloss der Act der Empfindung selbst und die Wahrnehmung der stattgefundenen Veränderung der Nervenhaut als Licht und Farben, sondern auch die Verwandlung der Netzhautbilder in Anschauungen von einem Sehraum, von Nähe und Ferne, Körperlichkeit und Grösse der Gegenstände. Ferner gehört dahin die Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Theilen des sensitiven Apparates und viele durch das äussere Licht entweder gar nicht oder nur mittelbar in der Nervenhaut hervorgerufenen Erscheinungen. Die hieher gehörigen Phaenomene werden in den folgenden Artikeln abgehandelt. 1. Von der Thätigkeit der Nervenhaut im Allgemeinen und von der Mitwirkung des Sensoriums beim Sehen. 2. Von der Wechselwirkung verschiedener Theile der Nervenhaut unter sich. 3. Von den Nachbildern. 4. Von der gleichzeitigen Wirkung beider Augen. 5. Von den subjectiven Gesichtserscheinungen.

1. Von der Thätigkeit der Nervenhaut im Allgemeinen und von der Mitwirkung des Sensoriums beim Sehen.

Action der Netzhaut und des Sensoriums.

Dass die Nervenhaut nicht bloss Wirkungen von aussen leitet, sondern selbstständig dagegen reagirt, wurde in der Einleitung zur Physiologie der Sinne ausführlich bewiesen. Licht und Farbe sind Actionen der Nervenhaut und ihrer Fortsetzungen zum Gehirn. Von der Art der äussern Einwirkung hängt es ab, welche Farben und lichte Bilder empfunden werden. Die Thätigkeit der Nervenhaut ist daher so wenig unbekannt, dass ihre bekannte Eigenschaft im Zustande der Reizung Farbe und Licht zu sehen, vielmehr das Grundphänomen ist, auf welchem alle Untersuchungen

über das Sehen basiren. Schwingungen einer durch die ganze Welt verbreiteten Flüssigkeit, des Aethers, von bestimmter Geschwindigkeit der Wellen bringen in der Nervenhaut die Empfindung einer bestimmten Farbe, Schwingungen einer andern Geschwindigkeit die Empfindung einer andern Farbe als Reaction der Nervenhaut hervor. Die Reizung der Nervenhaut in demselben Puncte von den verschieden schnellen Wellen zugleich bewirkt die Empfindung des Lichten. Dieselben Empfindungen entstehen aber auch ohne Mitwirkung der Schwingungen des Aethers von Reizung der Nervenhaut durch Electricität und Druck.

Wenn die Veränderungen der Nervenhaut es sind, welche beim Sehen empfunden werden, so kann man auch sagen, dass die Nervenhaut sich selbst beim Acte des Sehens in irgend einem Zustande empfinde, oder dass das Sensorium die Nervenhaut in irgend einem Zustande wahrnehme. Die Ruhe der Nervenhaut ist die Ursache der Erscheinung des Dunkeln vor den Augen, die thätige Nervenhaut ist die Ursache des lichten Sehfeldes in der Empfindung. Unter gewissen Umständen sieht man die Nervenhaut an sich selbst und einzelne Theile derselben, ohne dass äussere Gegenstände Bilder auf diesen Theilen verursachen. Dahin gehört ausser den Figuren von Druck und von der Electricität, ein von Purkinje zuerst beobachtetes Phänomen, welches hier zuerst erwähnt zu werden verdient. Wenn man in einem sonst dunkeln Raum mit einem Kerzenlicht 6 Zoll vor den Augen sich hin und her fahren lässt, oder wenn Bewegungen im Kreise mit dem Lichte vor den Augen ausgeführt werden, so sieht man nach einiger Zeit eine dunkle, baumartige, ästige Figur, welche ihre Aeste über das ganze Sehfeld ausbreitet und welche nichts Anderes ist, als die Ausbreitung der Vasa centralia retinae oder diejenigen Theile der Retina, die von diesen Gefässen bedeckt werden. Eigentlich sind zwei baumartige Figuren, deren Stämme sich nicht decken und vielmehr im linken und rechten Theile des Sehfeldes entspringen und sogleich auseinander fahren. Jedem Auge gehört ein Stamm an, die Aeste der beiden Figuren streben im gemeinschaftlichen Sehfeld durcheinander. Diese Figuren entstehen auf folgende Weise. Durch das Hin und Herfahren des Kerzenlichtes, wird auf dem ganzen Umfang der Retina Licht verbreitet, und alle Stellen der Retina, welche nicht von den Vasa centralia unmittelbar bedeckt sind, werden matt erhellt, die von den Gefässen bedeckten Stellen der Retina hingegen können nicht erhellt werden und erscheinen daher dunkel als schwärzliche Bäume. Bei den meisten Menschen gelingt das Experiment leicht, bei einigen schwer oder gar nicht. Die Aderfiguren scheinen vor den Augen zu liegen und im Sehfelde zu schweben. Durch diesen Versuch erhält man eine lebhafte Anschauung von der Wirklichkeit der Thatsache, dass man beim Sehen die Zustände der Nervenhaut und nichts Anderes als diese empfindet, und dass die Nervenhaut gleichsam das Sehfeld selbst ist, dunkel im Zustande der Ruhe, hell im Zustande der Erregung.

Eines der schwierigsten Probleme der Physiologie ist nun aber die Wechselwirkung der Nervenhaut und des Sensoriums

beim Sehen. Diesen Theil der Physiologie der Sinne kann man geradezu metaphysisch nennen, da es uns zur Zeit an genügenden empirischen Hülfsmitteln zur Aufklärung dieser Wechselwirkung gebricht. Wo wird der Zustand der Nervenhaut empfunden, in der Nervenhaut selbst oder im Gehirn?

Wenn die Zustände der Theilchen der Nervenhaut erst im Gehirn zur Empfindung kommen, so müssen sie im Sehnerven bis zum Gehirn in derselben Ordnung geleitet werden, welche die Theilchen der Nervenhaut nebeneinander haben. Jedem kleinsten Theilchen der Nervenhaut muss eine Nervenfaser des Sehnerven entsprechen. Damit stimmt die Erfahrung keineswegs überein. Vergleicht man die Dicke des Sehnerven mit der Ausbreitung der Nervenhaut, so scheint wenig Hoffnung zu einer solchen Uebereinstimmung. Denn die Zahl der Nervenfasern im Sehnerven scheint viel kleiner, als die Zahl der Papillen der Nervenhaut. Eine Uebereinstimmung würde daher nur dann statt finden können, wenn die sogenannten Primitivfasern des Sehnerven noch ausserordentlich viel feinere Elemente in grosser Anzahl enthielten. Indessen ist zu bedenken, dass nur im mittlern Theil der Netzhaut die Empfindung scharf ist, und nimmt man, dass in der Mitte der Netzhaut die Enden der Fasern dicht nebeneinander liegen, nach aussen hin aber durch immer grössere Zwischenräume getrennt sind, so fällt ein Theil der Schwierigkeiten weg. Die Empfindung ist in der Mitte der Netzhaut so scharf und auf den Seiten derselben so ganz unbestimmt, als wenn in der Mitte der Netzhaut einzelnen kleinen Theilchen des Bildes die Enden einzelner Fasern, an den Seiten vielen kleinen Theilchen des Bildes nur eine Faser entsprechen, und als wenn hier eine Faser in einiger Länge den Eindrücken ausgesetzt wäre, während sie in der Mitte der Netzhaut nur durch ihr punctförmiges Ende empfindet. Von besonderer Wichtigkeit wäre hier zu wissen, wie sich die von Treviranus beobachteten Nervenpapillen der Retina zur Faserschicht der Retina verhalten, ob in der That wie er angiebt, jede Nervenfaser in eine Nervenpapille umbiegt, oder ob eine Nervenfaser ganzen Reihen von Papillen entspricht. Wie würde aber eine Faser die Veränderungen ganzer Reihen von Raumtheilchen in ihrer Länge bis zum Sensorium leiten können, wenn im Sensorium erst die Empfindung der Orte entstehen soll. Findet die Präsentation der Empfindungen nur im Gehirn durch die Enden der Nervenfasern statt, so kann eine Faser auch alle Affectionen in aliquoten Theilen ihrer Länge nur in einem Puncte präsentiren. Fände hingegen die Empfindung verschiedener Orte an aliquoten Theilen der Länge einer Faser statt, so müsste man sich die Seele als in jedem Theilchen der Länge einer Faser wirkend vorstellen, wogegen für die Rückenmarksnerven die Erfahrungen über die Empfindungen der Amputirten sprechen. Diese Schwierigkeit liesse sich durch die Supposition heben, dass die höheren Sinnesnerven verschieden von andern Nerven näher an dem Wirken der Seele participiren, so dass die Seele bis in die Nervenenden der Retina fortwirke, indem die Sinnesnerven nur Fortsätze des Sensoriums sind. Es ist vollends

unmöglich bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft diess Räthsel aufzulösen.

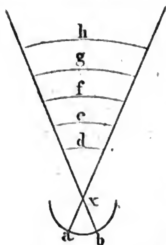
Wie sich das auch verhalten mag, so ist es jedenfalls gewiss, dass auch nach Verlust der Retina und des äusseren Theiles des Sehnerven, die innern oder Hirntheile des Sehsinnes nicht bloss die Empfindungen von Licht, sondern selbst dieselben Anschauungen von einem Sehfelde, in welchem Bilder gesehen werden, hervorbringen können. Hieher gehören die merkwürdigen von Lincke beobachteten Erscheinungen. Ein Mann, dem ein fungöses Auge exstirpirt worden war, sah einen Tag nach der Operation, als er das gesunde Auge schloss, verschiedene Bilder vor seiner leeren Augenhöhle umherschweifen, als Lichter, Feuerkreise, viele tanzende Menschen. Lincke *de fungo medullari. Lips.* 1834. Aehnliche Erscheinungen sind schon öfter an Totalblinden beobachtet. Siehe meine Schrift über *die phantastischen Gesichtserscheinungen. Coblenz* 1826. Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Affectionen der Nervenfasern des Sehnerven erst im Gehirn selbst zur Construction eines Sehraums verwandt werden, und eine Consequenz davon wäre wieder, dass die ganze Mosaik der Retina durch eine Anzahl übereinstimmender Nervenfasern im Sensorium repräsentirt werde, was durch die Erfahrung nicht nachweisbar ist.

Der Process der Wechselwirkung zwischen den Endtheilen des Sehapparates und den Centraltheilen desselben ist daher noch sehr unklar und wir können nur bei dem Factum stehen bleiben, dass alle Ordnung des Gesehenen im Sehfelde von der Ordnung der afficirten Netzhauttheilchen abhängt.

Grösse des Sehfeldes in der Vorstellung.

Die Grösse des Sehfeldes hängt ab von der Grösse der Netzhaut, denn niemals können mehr Bilder zu gleicher Zeit gesehen werden, als zusammen auf der ganzen Netzhaut Raum haben, in diesem Sinne ist die vom Sensorium empfundene Nervenhaut das Sehfeld selbst. Aber für die Vorstellung des Sehenden hat das Sehfeld gar keine bestimmte Grösse und die Vorstellung, die wir vom Sehfeld oder Sehraum vor uns haben, ist höchst veränderlich, bald sehr klein, bald ausserordentlich gross. Die Vorstellung vom Gesehenen projicirt nämlich das Gesehene aus einem später zu erklärenden Grunde nach aussen. Daher ist das Sehfeld in der Vorstellung sehr klein, wenn die Vorstellung durch nahe vor dem Auge liegende Hindernisse beschränkt wird, hingegen sehr gross in der Vorstellung, wenn das Projiciren des Gesehenen in der Vorstellung nach aussen keine Hindernisse findet. Sehr klein ist in der Vorstellung das Sehfeld, wenn wir in einen engen vor das Auge gehaltenen hohlen Körper sehen, gross, wenn wir durch eine enge Oeffnung in die Landschaft hinaussehen, noch grösser, wenn wir durch ein Fenster sehen, am grössten, wenn wir frei hinaussehen. In allen diesen Fällen ist die Vorstellung von der Grösse des Sehfeldes höchst verschieden und doch ist seine ab-

solute Grösse immer gleich, nämlich von der Ausbreitung der Nervenhaut abhängig. Denn wie gesagt, niemals kann mehr zugleich gesehen werden, als Bilder zusammen auf der Nervenhaut Platz haben. Dennoch obgleich beim Sehen durch eine Oeffnung in die Landschaft das ganze Bild der Landschaft nicht grösser als die Oeffnung ist, und denselben Raum auf der Retina einnimmt, als der Umfang der Oeffnung, so ist doch die Vorstellung von einem und demselben Sehfelde so höcht verschieden. Hieraus folgt also, dass das Vorstellen beim Sehen beständig mitwirkt, so dass zuletzt schwer zu sagen ist, was dem blossen Empfinden und dem Vorstellen angehört. Könnten wir im erwachsenen Zustande vom Vorstellen beim Sehen abstrahiren, dann nur würde das blosse Empfinden beim Sehen übrig bleiben, wie es beim neugebornen Kinde stattfinden mag. Für das Kind, welches noch keine Vorstellung von Nähe und Ferne des Gesehenen hat, würde das Sehfeld gleich gross erscheinen müssen, wenn es in eine am Ende geschlossene Röhre hineinsieht, oder wenn es durch dieselbe aber offene Röhre die ganze Landschaft sieht. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, dass das einfache Empfinden des Gesehenen allerdings etwas Ursprüngliches und von den Vorstellungen Unabhängiges seyn muss.



Alles was unter demselben Gesichtswinkel *axb* erscheint, hat auch nur dasselbe gleich grosse Netzhautbild *ab*, die Gegenstände *d*, *e*, *f*, *g*, *h* u. s. w. welche sehr verschieden an Grösse in verchiedener Entfernung liegen, haben denselben Gesichtswinkel und dasselbe gleichgrosse Netzhautbild *ab*, dennoch ist ihr Bild für die Vorstellung sehr ungleich, sobald Begriffe von Ferne und Nähe eingetreten sind. Denn das Vorstellen erweitert aus dem Bilde *ab* den Sehraum zu *d*, zu *e*, zu *f*, zu *g*, zu *h*, um soviel uud stellt das Netzhautbild *ab* so gross der Seele vor, als es sonst schon in der Nähe, oder wie es am häufigsten gesehen wurde. Eine auf der Netzhaut zunächst abgebildete Landschaft *ab* von dem Gesichtswinkel *axb* wird daher vielleicht zwei Meilen gross vorgestellt, wenn wir wissen, dass sie so gross ist, oder wenn wir aus der Menge der zugleich gesehenen bekannten Gegenstände schliessen, dass es so sei. Und so wie einige Bilder von gleichem Gesichtswinkel verschieden gross im Sehfeld vorgestellt werden, so wird auch das ganze sich immer an absoluter Grösse gleichbleibende Sehfeld der afficirten Netzhauttheilchen äusserst verschieden an Grösse vorgestellt. Aus diesem Grunde wird das in der Camera obscura betrachtete Bild für eine lebendige Landschaft, für den wahren Sehraum selbst gehalten, obgleich es nur ein kleines Bild auf einer Tafel ist. Durch denselben Process des Projicirens in der Vorstellung nach aussen, entsteht auch die Vorstellung von Tiefe im Sehraume, welche Vorstellung am meisten dadurch befestigt wird, dass, indem wir fortgehen, sich unserer Retina andere Bilder

darbieten, daher wir gleichsam zwischen den Bildern durchzugehen scheinen, was für die Vorstellung so viel wird, als ein Hindurchgehen zwischen den gesehenen Gegenständen im Sehraume.

So wird es also klar, dass das vorgestellte Sehfeld höchst wandelbar ist, während das Sehfeld der einfachen Empfindung durchaus von dem Umfang der Nervenhaut oder der inneren centralen Theile des Sehapparates im Gehirn abhängig ist. Dem letztern entspricht am meisten ein solches Empfinden in der Nervenhaut, wobei wir uns gar keine Objecte vorstellen, z. B. die Empfindurg des dunkeln Sehfeldes bei geschlossenen Augen, oder die Empfindung des lichten Sehfeldes bei geschlossenen Augen, wenn das Licht durch unsere Augenlieder scheint. Hier scheint auch das Sehfeld unmittelbar vor oder im Auge zu seyn. Sobald aber mit dem Gesehenen sich irgend eine Vorstellung von schon gesehenen Objecten verbinden lässt, so tritt auch die Projection nach aussen in der Vorstellung ein, und die Grösse in welcher man sich das Gesehene vorstellt, hängt selbst von individuellen Erfahrungen ab. Daher ist die Angabe der Einzelnen so sehr verschieden, wie gross sie die, in dem vorerwähnten Versuch von Purkinje sichtbaren Adern der Nervenhaut sehen und wie weit vor dem Auge diese Figuren zu schweben scheinen.

Der Gesichtssinn verhält sich in dieser Weise ganz anders zu den äussern Gegenständen als der Gefühlssinn. Für den letztern sind die Objecte unmittelbar gegenwärtig und das Mass für die Grösse der äussern Objecte ist unsere Leiblichkeit, welche die Objecte berührt. Eine von der Hand berührte Tafel erscheint an der berührten Stelle so gross als Theile der Hand davon afficirt werden, denn ein Theil unseres Leibes den wir empfinden, ist hier das Mass. Die berührende Stelle der Hand macht nämlich einen Theil aus von der empfindlichen ganzen Körperoberfläche, und die berührte Stelle der Tafel erscheint so gross, als die berührende Stelle der Hand im Verhältniss zu unserm ganzen Körper erscheint. Alle Unterscheidung unserer Körpertheile hängt aber wieder ab, von der Möglichkeit die von verschiedenen Körpertheilen kommenden Nervenfasern im Sensorium zu unterscheiden. Beim Gesichtssinn hingegen sind die Bilder der Gegenstände nur Bruchtheile der Gegenstände selbst, realisirt auf der sich gleichbleibenden Netzhaut. Aber der Process des Vorstellens, welcher die Empfindungen des Sehens zergliedert, erhebt nach aussen wirkend die Bilder der Gegenstände, mitsammt dem ganzen Sehfelde der Netzhaut in der Vorstellung zu ganz varianten Grössen, wobei nur das relative Verhältniss der Bilder zum ganzen Sehfeld oder der afficirten Netzhauttheilchen zur ganzen Netzhaut ungestört bleibt.

Volkmann (*Beitr. zur Physiol. d. Gesichtssinnes. Leipz.* 1836.) macht die Bemerkung, dass die Netzhaut in keinem Falle ihre räumliche Ausdehnung empfinde, und dass selbst der Gefühlssinn nicht die eigene Leiblichkeit zur Anschauung bringe. Er beruft sich auf die Beobachtungen von E. H. Weber, dass die Distanz zweier Puncte an verschiedenen Stellen der Haut sehr verschieden empfunden werde. Siehe oben *Band I. 3. Buch. 3. Abschnitt.* Volkmann stellt

daher den Satz auf, die Haut schätzt die Grösse der Objecte so, dass sie die Grösse der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz als Masseinheit annimmt. Nennen wir diese Masseinheit x, so sei die Grösse eines Zolles für die Fingerspitze 12 x, für eine Stelle in der mittlern Gegend des Arms 1 x. Denn jede Stelle der Haut gebe einem betasteten Objecte so vielmal die Grösse x als sie Stellen enthalte, die x als Gesondertes zu unterscheiden im Stande sind. Nach dieser Ansicht müsste, wenn ich mit der Fingerspitze den Mittelarm berühre, dieselbe Stelle von der Fingerspitze 12 Mal so gross, als von der Haut des Arms empfunden werden. Volkmann wendet seine Ansicht auch auf die Netzhaut an, auch sie nehme bei Schätzung der Grösse die letzte sichtbare Distanz als Masseinheit ein. Die von Weber beobachteten Erscheinungen lassen indess noch eine andere Erklärung, nämlich aus der Vermischung oder Irradiation der Empfindungen, bei welcher sie gleichsam Zerstreuungskreise bilden, zu.

Nach aussen Wirken des Gesichtssinnes.

Es kömmt nun zunächst zur Frage, wie das nach aussen Wirken des Sehens zuerst entsteht. Mehrere Physiologen wie Tourtual, Volkmann, Bartels, legen dem Gesichtssinne selbst das Wirken nach aussen, oder Setzen des Gesehenen nach aussen zu. Aber was ist zuerst aussen? Da der zuerst Sehende das Bild seines Körpers noch nicht von andern Bildern zu unterscheiden vermag, so kann das nach aussen Setzen des Gesehenen nichts Anderes, als ein Unterscheiden des Gesehenen vom Subject, ein Unterscheiden des Empfundenen vom empfindenden Ich seyn. Das nach aussen Setzen des Gesehenen ausser dem eigenen Körper ist Sache des Urtheils, wie schon in der Einleitung zur Physiologie der Sinne erörtert wurde. Man sagt, der Neugeborne setze die Gesichtsobjecte gleich anfangs ausser seinem Körper und ausser seinem Auge; aber der Neugeborne kennt sein eigenes Auge, wie seinen eigenen Körper in der Form von Gesichtsempfindungen nicht; und muss erst durch die Erfahrung lernen, welches von den Bildern, die er sieht, sein eigener Körper ist. Man kann also nur sagen, dass der Neugeborne das Empfundene ausser dem empfindenden Ich setzt, und nur in diesem Sinne setzt er das Empfundene nach aussen. Bei den Thieren ist diese Reaction des Sensoriums nach aussen viel sicherer, durch Mitwirkung des Instinctes, denn das Thier geht bald auf die Zitze der Mutter zu, und in seinem Sensorium muss ein angeborner Antrieb seyn, das gesehene Bild, das dem sehenden Ich äusserlich oder Object ist, durch Bewegungen zu erreichen. Weiss der Neugeborne das Bild des eigenen Körpers anfangs nicht vom Bild der Aussenwelt zu unterscheiden, so bemerkt er bald, dass gewisse Bildchen im Sehfeld fast beständig wiederkehren, und dass sich diese Bildchen bewegen, wenn sich der Körper willkührlich bewegt. Diese sind Bilder des eigenen Körpers, alle übrigen Bilder verändern sich theils ganz unabhängig von dem eigenen Körper, theils entsprechen ihre Veränderungen nicht den Bewegungen des Individuums. Das sind die Bilder

der Aussenwelt, welche nun als ausser dem Körper des Individuums räumlich existirend gesetzt und fort und fort in dem nun entstandenen Sehraum der Vorstellung sich widerholt. Vom Auge in sofern es sieht weiss der Neugeborne nichts. Der Sehende hat überhaupt wenig Gelegenheit zu erkennen, dass im Auge gesehen wird. Nur in den Fällen, wo zwar im Auge emptunden, aber nichts bestimmtes Aeusseres gesehen wird, hat man die Gelegenheit zu bemerken, dass das Auge der Schauplatz dieser Wirkungen ist, im Empfinden des Dunkels vor den geschlossenen Augen und im Empfinden der durch die geschlossenen Augenlieder wirkenden Helligkeit. Auf die eben dargestellte Art muss der neugeborne Mensch lernen die sichtbare Aussenwelt sich selbst gegenüber zu setzen oder die sichtbare Welt ausser sich zu setzen.

Bilder des eigenen Körpers im Sehfelde.

Gewisse Theile unseres Körpers machen nun fast immer einen Theil des Sehfeldes des Auges und also auch der Gesichtsvorstellungen aus. Wenn wir mit einem Auge sehen, so wird die eine Seite des Sehfeldes vom Bilde der einen sichtbaren Seite der Nase eingenommen. Bewegen wir die Augenbraunen herab, so nehmen die Augenbraunen den obern Theil des Sehfeldes ein. Wird die Wange erhoben, so sieht man einen Theil davon an der untern Seite des Sehfeldes, und wird der äussere Theil des Musculus orbicularis palpebrarum contrahirt, so wird auch der äussere Theil des Sehfeldes durch ein Schattenbild, was von den Umgebungen des Auges herrührt, begrenzt. Bilder von Theilen unseres Körpers können also in der ganzen Peripherie des Sehfeldes erscheinen, und zwischen den Bildern von unsern Körpertheilen liegen dann die Bilder der äussern Gegenstände. Wenn wir mit einem Auge sehend die Nasenspitze fixiren, so ragt das Bild der Nase von der einen Seite des Sehfeldes bis in die Mitte. Wenn wir mit beiden Augen zugleich sehen und die Nasenspitze fixiren, so liegt das Bild der Nasenspitze in der Mitte des untern Theils des Sehfeldes, beiden Augen zugleich angehörend, während die Bilder der Nasenseiten zum Theil verloren gehen, indem das eine Auge äussere Objecte sieht an der Stelle, wo das andere ein undeutliches Bild der Nase hat. Wird das Auge mehr nach abwärts gewandt, so erscheint am untern Theil des Sehfeldes nicht mehr bloss die Nase, die Wangen und die Lippen, sondern auch der Rumpf und die Extremitäten. Bei jeder Stellung des Auges aber sieht es immer einen Theil unseres Körpers, der eine bestimmte Stelle in der Peripherie des Sehfeldes oben oder unten oder an den Seiten einnimmt, und das Bild unserer Körpertheile macht einen integrirenden Theil der meisten Gesichtsempfindungen und Gesichtsvorstellungen aus.

Obgleich die Bilder unseres Körpers auch nur auf dem Sehfelde der Netzhaut abgebildet, und von diesem aus dem Sensorium präsentirt werden, so legt ihnen das Sensorium mit derselben Sicherheit wie den Bildern äusserer Gegenstände Objectivität bei. Genau genommen ist das Bild unserer Hand, das wir sehen,

nicht die Hand selbst, sondern nur ihr Schein. Wir greifen nach Etwas, und indem wir diess thun, geschieht im Bilde des Sehfeldes der Netzhaut dasselbe, wir sehen, dass wir greifen, indem der Schein unserer Hand den Schein des Objectes ergreift. Von demselben Acte werden wir auch durch einen andern Sinn, durch das Gefühl der Hand und ihrer Bewegungen unterrichtet. Wunderbar scheint nun, dass, obgleich das Fühlen unserer Körpertheile und das Sehen derselben an ganz verschiedenen Orten geschieht, doch beiderlei Empfindungen nie in Widerspruch gerathen. Die Harmonie und die Vereinigung beiderlei Empfindungen geschieht auch durch die Vorstellung. Dass dem so ist, können wir an einem Beispiel uns versinnlichen, wo die Verschiedenheit des Ortes noch auffallender ist, die Vorstellung aber gleichwohl beiderlei Empfindungen nicht minder enge verknüpft. Wenn wir das Bild unseres Körpers und seine Bewegungen im Spiegel sehen, die Hände bewegen und davon durch das Gefühl sowohl, als durch das Bild im Spiegel unterrichtet werden, so gelingt es uns auch, das Gefühlte und das Gesehene, obgleich es an ganz verschiedenen Orten stattfindet, durch die Vorstellung zu Einem zu verbinden.

Verkehrtsehen und Geradesehen.

Nach optischen Gesetzen werden die Bilder in Beziehung zu den Objecten verkehrt auf der Netzhaut dargestellt, was oben im Objecte ist, erscheint unten im Bilde und umgekehrt, das rechte links, das linke rechts, während die relative Lage der Theile des Bildes ganz dieselbe bleibt. Es entsteht nun die Frage, ob man die Bilder in der That wie sie sind verkehrt, oder ob man sie aufrecht wie im Objecte sehe. Da Bilder und afficirte Netzhauttheilchen eins und dasselbe sind, so ist die Frage physiologisch ausgedrückt, ob die Netzhauttheilchen beim Sehen in ihrer naturgemässen Relation zum Körper empfunden werden.

Meine Ansicht der Sache, welche ich bereits in der Schrift über die Physiologie des Gesichtssinnes entwickelte, ist die, dass, wenn wir auch verkehrt sehen, wir niemals als durch optische Untersuchungen zu dem Bewusstseyn kommen können, dass wir verkehrt sehen und dass wenn Alles verkehrt gesehen wird, die Ordnung der Gegenstände auch in keiner Weise gestört wird. Es ist wie mit der täglichen Umkehrung der Gegenstände mit der ganzen Erde, die man nur erkennt, wenn man den Stand der Gestirne beobachtet, und doch ist es gewiss, dass innerhalb 24 Stunden Etwas im Verhältniss zu den Gestirnen oben ist, was früher unten war. Daher findet beim Sehen auch keine Disharmonie zwischen Verkehrtsehen und Geradefühlen statt; denn es wird eben Alles und auch die Theile unseres Körpers verkehrt gesehen und Alles behält seine relative Lage. Auch das Bild unserer tastenden Hand kehrt sich um. Wir nennen daher die Gegenstände aufrecht, wie wir sie eben sehen. Eine blosse Umkehrung der Seiten im Spiegel, wo die rechte Hand den linken Theil des Bildes einnimmt, wird schon kaum bemerkt und unsere Ge-

fühle treten, wenn wir nach dem Spiegelbilde unsere Bewegungen reguliren, wenig in Widerspruch mit dem, was wir sehen. Z. B. wenn wir nach dem Spiegelbilde eine Schleife an der Halsbinde machen. Einiger Widerspruch ist allerdings da, weil die Umkehrung unvollkommene Umkehrung der Seiten und nicht Alles zugleich umgekehrt ist.

Volkmann ist mit der vorhererwähnten Ansicht einverstanden. Auch er behauptet, dass es einer Erklärung des Aufrechtsehens nicht bedarf, so lange das Auge nicht Einzelnes, sondern Alles verkehrt sieht. Verkehrt kann nichts seyn, sagt Volkmann, wo nichts gerade ist. Denn beide Begriffe existiren nur im Gegensatze.

Die Erklärung des Aufrechtsehens, dass man nicht das Bild der Netzhaut, sondern die Direction der Lichtstrahlen sehe, enthält etwas Unmögliches, da eine bestimmte Direction der Lichtstrahlen nicht vorhanden ist, sondern jedem Puncte ein ganzer Lichtkegel entspricht, und da doch immer nur der Zustand der Netzhauttheilchen und nicht etwas vor ihnen Liegendes empfunden werden kann. Auch die Erklärung, dass die Nervenhaut nach aussen wirke und die Objecte in kreuzender Richtung nach aussen setze, z. B. nach der Richtung des Perpendikels der Netzhautkrümmung (Bartels), ist eine ganz willkührliche Annahme, da man nicht entfernter Weisse einsehen kann, warum eine Richtung vor der andern den Vorzug haben soll, und da jedes Theilchen der Nervenhaut, wenn es das Vermögen nach aussen zu wirken hätte, nach ebenso viel Richtungen wirken müsste, als sich Radien von ihm gegen die Aussenwelt ziehen lassen. Da man nun das Verkehrtsehen niemals bemerken kann, so ist es auch nicht wahrscheinlich, dass die Natur im Gehirn oder anderswo eine Correction von einem Irrthum veranstaltet habe, den man nie anders, als bei Anstellung optischer Untersuchungen erkennen kann. Der kreuzende Verlauf der Sehnerven kann nicht dafür angeführt werden, da die Kreuzung nur eine theilweise ist. Vergl. über diesen Gegenstand Berthold *über das Aufrechterscheinen der Gesichtsobjecte. Gött.* 1830. und Bartels *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Berlin* 1834.

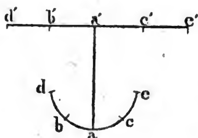
Wäre es möglich, dass von einem Gegenstand ohne Mitwirkung des Lichtes ein Bild auf der Netzhaut entstände, z. B. durch unmittelbare Berührung, so würde in diesem Falle eine Erscheinung des Objectes ohne Umkehrung des Bildes stattfinden, und wäre es möglich denselben Gegenstand einmal durch das äussere Licht und zum zweiten durch unmittelbaren Anstoss desselben auf die Netzhaut zu sehen, so würden die auf beide Weisen bewirkten Bilder auf entgegengesetzten Seiten liegen müssen. Diess ist in der That in Versuchen möglich. Wenn man z. B. mit dem Finger die Netzhaut durch die Sclerotica hindurch drückt, so erhält man vom Finger ein unmittelbares Druckbild. Zugleich kann man aber auch den Finger durch Vermittelung des äussern Lichtes sehen. Beiderlei Bilder liegen auf entgegengesetzten Seiten. Drückt man im Dunkeln bei geschlossenen Augen mit dem oben gesehenen Finger den scheinbar obern Theil des Auges

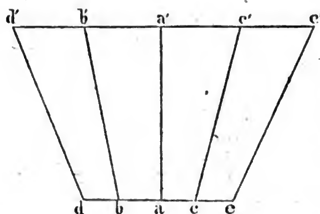
so erscheint das Druckbild unten, drückt man den untern Theil der Netzhaut, so erscheint das Druckbild oben, drückt man den rechten Theil der Netzhaut, so erscheint das Druckbild links und ebenso umgekehrt.

Richtung des Sehens.

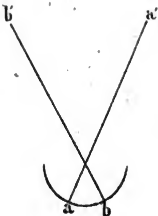
Ehe wir diesen Gegenstand ganz verlassen, müssen wir noch davon handeln, was Einige Richtung des Sehens nennen. Gegenstände, welche auf dasselbe Netzhauttheilchen ihre Bilder werfen, liegen in einerlei Richtung des Sehens. Es sind in Hinsicht der Ursachen, welche die Richtung des Sehens bestimmen, zwei Ansichten möglich, wovon mir aber nur die eine als die richtige erscheint.

1. Die Richtung in welcher Etwas gesehen wird, hängt bloss von dem afficirten Netzhauttheilchen ab, und wie weit und in welcher Richtung dieses Theilchen vom Mittelpuncte der ganzen Netzhaut entfernt ist, oder welche Stelle dieses Theilchen in der ganzen Mosaik der Netzhaut einnimmt. Wirkt auch die Vorstellung nach aussen, und projicirt sie die Affectionen der Netzhaut nach aussen, so bleibt sich die Relation der Bilderchen gleich, und die Gesichtsvorstellung kann gleichsam als eine Versetzung des ganzen Sehfeldes der Netzhaut nach vorwärts gedacht werden, wobei die Seiten dieselben bleiben, das oben erscheinende oben, das unten erscheinende auch unten vorgestellt wird. So wenn $d\ b\ a\ c\ e$ die Netzhaut wäre, $d'\ b'\ a'\ c'\ e'$ aber die Projection der Bilder der Vorstellung nach aussen, so wäre a' die Projection von a, b' die Projection von b, c' die Projection von c u. s. w. b' liegt in der Vorstellung auf derselben Seite wie im Netzhautbilde b, so liegt c' auf derselben Seite wie das Netzhautbild c, und eben so mit allen andern entsprechenden Puncten; oder denkt man sich die Netzhaut eben, so wäre die Projection wie in der zweiten Figur. Die Ausdehnung, welche $d'\ e'$ erhält, hängt bloss von der Vorstellung ab, unverändert bleiben bloss die relativen Lagen von $a'\ b'\ c'\ d'\ e'$.





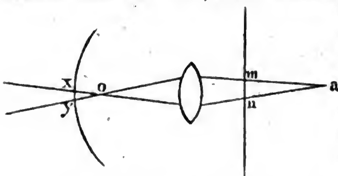
2. Dieser Ansicht entgegengesetzt ist, dass die Projectionen der Bilder sich kreuzen, wie in der folgenden Figur, so dass a des Netzhautbildes nach der entgegengesetzten Seite in der Vorstellung projicirt, oder in der Richtung aa' gesehen werde. Diese letztere



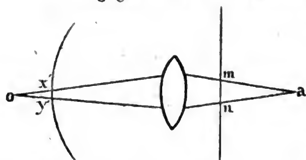
Ansicht kann wieder sehr verschieden seyn, nach der Lage des Kreuzungspunctes, welchen man für die Directionen annimmt.

Hierher gehört: a) die Ansicht derjenigen, welche glauben, dass man die Direction des Lichtes wahrnehme, und also auch in der Direction des Lichtes selbst sehe, eine merkwürdiger Weise selbst in den physikalischen Lehrbüchern sehr häufig verbreitete Vorstellung. Schon Porterfield hat die Unstatthaftigkeit derselben bewiesen und Volkmann zeigt dasselbe.

Beim gewöhnlichen Sehen wird jeder Punct des Bildes auf der Retina durch die Spitze eines Lichtkegels bestimmt, dessen Basis die Breite der Pupille ist. Welcher dieser Strahlen des Kegels soll die Direction bestimmen? Der Achsenstrahl; aber die peripherischen Strahlen sind, wenn sie beim Sehen durch ein Kartenloch isolirt werden, auch hinreichend. Ist der Punct *a* so weit vom Auge entfernt, dass seine Strahlen vor der Netzhaut in *o* sich zum Puncte vereinigen, und sind *mn* zwei Kartenlöcher, so entwerfen sich bei *xy* zwei Bilder von den, durch die Kartenlöcher durchgehenden Lichtbündeln.



Ist hingegen *a* in der zweiten Figur zu nahe dem Auge, so dass das Bild hinter die Netzhaut fällt, und *mn* wider die Kartenlöcher, so erscheinen zwei Bilder von den durch die Kartenlöcher durchgehenden peripherischen Strahlen des Lichtkegels nämlich *x'y'*. Bei einer bestimmten Entfernung des leuchtenden Punctes *a* kann die Entfernung von *x'* und *y'* der zweiten Figur so gross als die Entfernung von *x* und *y* der ersten Figur seyn, und die Bilder erscheinen dann an demselben Ort, dennoch ist die Direction der Strahlenbündel *xo* in der ersten Figur und *ox'* in der zweiten ganz verschieden.

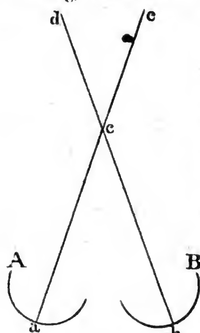


b) Die zweite Modification der zuletzt erwähnten Theorie ist die von Porterfield und Bartels, dass jeder Netzhautpunct in der Richtung einer auf der Netzhaut oder der Tangente des Netzhautpunctes senkrecht stehenden Linie sehe. Diese Ansicht ist ganz willkührlich.

c) Volkmann stellt eine dritte Modification der unter 2. genannten Ansicht auf. Die Richtung der Empfindung sei begründet durch die Lage der empfindenden Stelle zum Kreuzungspunct der Sehstrahlen, welcher nach seinen Untersuchungen mit dem Netzhautbildchen und dem Objecte in einer Linie liegt. Vergl. oben p. 322.

Und dieses finde zufolge angeborner und nicht zu erklärender Gesetze statt. Allerdings findet physikalisch die vollkommenste Uebereinstimmung zwischen den Objecten und den Netzhautbildern statt, und der genannte Kreuzungspunct ist es, durch welchen die von den einen zu den andern gezogenen Linien gemeinschaftlich durchgehen. Indessen liegt nach meiner Meinung in der Thätigkeit des Sehnerven kein nach aussen Wirken in einer bestimmten und exclusiven Richtung. Volkmann statuirt eine unerklärliche angeborne Beziehung der Netzhauttheilchen zu einem Kreuzungspunct hinter der Linse. Die Annahme von etwas Unerklärlichem hat man bei der unter 1 angeführten Ansicht nicht nöthig. Jedem Bild ist seine Richtung durch seine Lage auf der Netzhaut und durch die Lage dieser Stelle zur ganzen Netzhaut bestimmt, und in derselben Ordnung, aber ohne Kreuzung projiciren sich die Gegenstände in der Vorstellung. Das Projiciren kann nicht von einer blossen Biegung der Netzhaut abhängig seyn, es ist nach meiner Meinung in der Ordnung der Netzhauttheilchen zu einander begründet.

Alle Erklärungen der Richtung des Sehens nach dem Princip der zweiten Theorie leiden an einem gemeinsamen Fehler. Das Sehen mit zwei Augen zugleich widerspricht ihnen sämmtlich. Wenn die Richtung des Sehens abhängt von einer Wirkung der Netzhaut in irgend einer bestimmten Richtung nach aussen, entweder in der Direction des Drehpunctes der Augen, oder in einer Richtung, die auf der Netzhaut senkrecht ist, so ist das Einfachsehen mit beiden Augen gar nicht denkbar. Denn das Auge *A* wird das im Mittelpunct der Netzhaut liegende Bild des Punctes *c* in der Richtung *ace* sehen, das Auge *B* wird hingegen das in den Mittelpunct der Retina fallende Bild von *c* in der Richtung *bcd* sehen. Dasselbe *c* wird also nach jener Theorie an zwei ganz verschiedene Orte versetzt werden müssen. Dass die Mittelpuncte beider Netzhäute immer einfach sehen, kann nicht entgegnet werden. Denn wenn sie dasselbe Object an demselben Orte sehen, so können sie es nicht in den Richtungen *ace* und *bcd* nach aussen setzen, so können sie nicht einfach sehen.



Hängt hingegen die Richtung, in welcher etwas gesehen wird, bloss vom Verhältniss der afficirten Netzhauttheilchen zur ganzen Netzhaut ab, so wird *c* auf den identischen Stellen *a* und *b* beider Netzhäute einfach gesehen, und die Mitte des Gesichtsfeldes beider Augen einnehmen.

Urtheil über Gestalt, Grösse, Entfernung, Bewegung.

Zuletzt kommt hier in Betracht das Urtheil über die Gestalt der Körper, ihre Grösse, Entfernung und Bewegung. Das Urtheil

von der Gestalt der Körper aus dem Gesicht ist theils blosse Folge der Empfindung, theils combinirter Vorstellungen. Da die Form der Gesichtsbilder durchaus abhängt von dem Umfang der afficirten Netzhauttheilchen, so reicht die blosse Empfindung hin zur Unterscheidung einfacher flächenhafter Gestalten, z. B. eines Quadrats von einem Kreise.

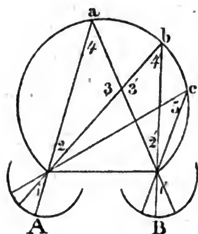
Molyneux legte Locke die Frage vor, ob ein Blindgeborner, welcher einen Cubus von einer Kugel durch das Gefühl unterscheidet, nach plötzlicher Erhaltung des Gesichtes beide durch das Gesicht zu unterscheiden vermöge. Warum beide Philosophen sich verneinend erklären konnten, ist nicht einzusehen. Denn das Fühlen und Sehen beruht auf denselben Grundanschauungen von der Ausbreitung unserer eigenen Organe im Raume. Daher hat auch ein neugebornes Thier sogleich Empfindung der bestimmten Gestalt, indem es die Zitze der Mutter sieht, und diess beweisst allein, dass die Fähigkeit einfache Gestalten aufzufassen nicht erlernt wird. Dagegen ist die Beurtheilung der Gesichtsbilder auf die verschiedenen Dimensionen der Körper eine Sache der Uebung, da alle Gesichtsanschauungen ursprünglich nur flächenhaft sind, und das Urtheil die verschiedenen Flächen, die man bei anderer Stellung zu den Körpern an ihnen wahrnimmt, zur Vorstellung von einem Körper ergänzen muss. Der von Cheselden Operirte sah Alles in einer Fläche, wie es sich in der That in einer Fläche darstellt. Indem aber die Bilder sich ändern, während wir uns im Raume bewegen, indem wir zwischen den Bildern gleichsam durchschreiten, entsteht uns die Vorstellung der Tiefe des Sehraums, welches eine blosse Vorstellung und keine Empfindung ist.

Die scheinbare Grösse der Gegenstände hängt zunächst von der Grösse des afficirten Theiles der Netzhaut, oder von der Grösse des Gesichtswinkels ab, unter dem sie dem Auge erscheinen. Das Urtheil über die wahre Grösse der Gegenstände aus der scheinbaren ist eine Sache der Uebung und der Combination aus schon vorhandenen Vorstellungen von Nähe, Ferne u. s. w.

Die Beurtheilung der Nähe und Ferne ist keine Sache der Empfindung, sondern des Verstandes. Jeder Gegenstand wird für fern gehalten, der unter kleinerm Gesichtswinkel erscheint, als er in unmittelbarer Nähe gesehen wird. Derjenige erscheint ferner, welcher von andern zum Theil bedeckt oder relativ kleiner gesehen wird, als er erscheinen müsste, wenn er mit den andern Gegenständen in derselben Entfernung gelegen wäre. Diese Beurtheilung wird erworben, und ist beim Menschen wenigstens nicht ursprünglich. Für das Kind liegt Alles in gleicher Ferne und es greift nach dem Monde wie nach dem Nächsten.

Es wird von den meisten Physiologen behauptet, dass die Stellung der Augenachsen, welche nöthig ist, um einen Gegenstand zu fixiren, auch viel zur Beurtheilung der Entfernung beitrage, indem die Achsen der Augen mehr und mehr convergiren, je näher ein Gegenstand ist. Dieses Mittel ist indess überschätzt. Bei Gegenständen, die in gerader Richtung vor den Augen liegen, kann es allerdings sehr wirksam seyn, aber bei seitlichen Gegen-

ständen muss es alle Wirksamkeit verlieren, wie sich leicht beweisen lässt. Denn seitliche Gegenstände erfordern eine ganz andere Convergenz der Sehachsen zur Fixation als gerade vorausliegende, wenn beide auch in derselben Entfernung liegen. So ist die Convergenz der Sehachsen für die Puncte *a*, *b*, *c* gleich, und doch liegt *a* sehr weit von, das seitliche *c* aber sehr nahe bei den Augen. Die Winkel 4, 4′ und 5 sind gleich, wenn *abc* ein Kreis; denn es ist die Eigenschaft des Kreises, dass die auf einer gemeinschaftlichen Sehne gegen die Peripherie errichteten Dreiecke gleiche Winkel an der Peripherie haben. Wir lernen daher aus dem Umstande, dass nebeneinander liegende Gegenstände einen gleichen parallaktischen Winkel der Sehachsen haben, nicht, dass sie gleich weit entfernt sind, sondern, dass sie in einem Kreis liegen.



Das Urtheil über Bewegung der Gesichtsobjecte hängt theils von der Bewegung des Bildes über die Netzhaut, theils von der Bewegung der Augen ab, welche einem bewegten Körper folgen.

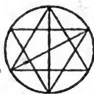
Bewegt sich das Bild auf der Nervenhaut, wenn das Auge und unser Körper ruht, so urtheilen wir, dass das gesehene Object seine Stellung gegen unsern ruhenden Körper verändere. Hierbei kann die Bewegung des Objectes eine scheinbare seyn, wenn sich der Körper bewegt, auf dem wir uns befinden, wie das Schiff auf dem wir stehen. Bewegt sich das Bild auf der Netzhaut nicht, bleibt es vielmehr auf derselben Stelle der Netzhaut fixirt, und folgen die Bewegungen der Augen dem bewegten Körper, so urtheilen wir über die Bewegung des Objectes aus den Gefühlsempfindungen der bewegten Augenmuskeln, oder aus den vom Sensorium zu den Augenmuskeln gesandten Strömungen. Bewegt sich das Bild über die Netzhaut und die Augenmuskeln zugleich in entsprechender Weise, wie beim Lesen, so urtheilen wir dass das Object ruhig sei und wir wissen dass nur wir unsere Stellung zum Object verändern. Zuweilen ist die Bewegung des Gegenstandes scheinbar, wenn doch sowohl die Gegenstände als das Auge ruhig sind. Hierher gehört die scheinbare Bewegung der Gegenstände im Kreise, wenn man sich vorher im Kreise gedreht hat, und zwar entgegengesetzt. Purkinje hat über diese Erscheinungen merkwürdige Beobachtungen gemacht, welche zu beweisen scheinen, dass jene von einem dem Gehirn mitgetheilten Impuls zur Bewegung in der bestimmten Richtung abhängen. Denn die Richtung der Rotation bleibt diejenige im Verhältniss zum Kopf, welche sie ursprünglich war, wenn auch der Kopf beim Aufhören der Kreisbewegung verdreht wird. Z. B. hat man sich mit geradestehendem Kopfe gedreht, und bleibt plötzlich stehen, so drehen sich die Gegenstände horizontal, wendet man jetzt die Achse des Kopfes zur Seite, so drehen sich die Gegenstände nicht mehr horizontal um eine auf den Boden senkrechte Linie, sondern ho-

rizontal um die seitwärts geneigte Achse des Kopfes, daher geht die Cirkelbewegung nun schief aufwärts. Dieselbe Scheinbewegung erfolgt, wenn man mit nach der Seite geneigtem Kopfe sich horizontal dreht, plötzlich still steht, aber den Kopf jetzt aufrichtet. Siehe über diesen Gegenstand Purkinje in *med. Jahrb. d. Oesterreich. Staates.* Mit diesen Scheinbewegungen darf man andere nicht verwechseln, welche aus Nachbildern entstehen und von welchen wir bei diesen handeln werden. Die Scheinbewegungen vom Drehen haben nichts mit den Nachbildern zu thun, sie können auch erfolgen, wenn man sich bei verschlossenen Augen gedreht hat.

Wirkung der Aufmerksamkeit beim Sehen.

Wir schliessen diesen Artikel von der Wechselwirkung der Netzhaut und des Sensoriums mit einer Bemerkung über die Einwirkung des Vorstellungsvermögens auf den Act des Empfindens selbst.

Die Seele kann ihre Aufmerksamkeit bald dem Gesichtssinn, bald dem Gehörsinn, bald dem Gefühlssinn ausschliesslich oder mehr zuwenden. Ist sie mit den Wirkungen des einen Sinnes ausschliesslich beschäftigt, so percipirt sie von den Wirkungen der andern Sinne wenig oder gar nichts. Der Gesichtssinn bringt auch wie jeder andere Sinn keine Wirkungen auf die Seele hervor, wenn sie in tiefe Betrachtungen anderweitig versenkt ist. Mit starrendem Auge sehen wir tief nachdenkend oft gar nichts, indem die Wirkungen der Nervenfasern nicht im Stande sind, das anderweitig thätige Sensorium zu erregen und sich im Gehirn unbeachtet verlieren müssen. Zum Sehen ist also Aufmerksamkeit der Seele nöthig. Aber die Aufmerksamkeit zergliedert auch das, was im Sehfelde vorgeht. Von dem ganzen Sehfelde der Netzhaut wird nicht Alles mit gleicher Schärfe erfasst, sondern bald dieses bald jenes. Die Empfindung wird schärfer, indem das Empfundene zugleich vorzugsweise vorgestellt wird. Jede mathematische zusammengesetzte Figur wird anders aufgefasst, je nach der Isolation der Aufmerksamkeit auf einzelne Theile der Figur. So prägt sich in der beistehenden Figur bald das Ganze, bald seine Theile, bald die peripherischen 6 Dreiecke, bald das mittlere Sechseck, bald die zwei grossen Dreiecke dem Sinne schärfer ein. Je vielgliedriger eine Figur ist, um so mehr Variation bietet sie dem Spiel der Aufmerksamkeit dar. Daher architectonische Verzierungen für den Sinn eine gewisse Lebendigkeit haben, indem sie dem Leben der vorstellenden Thätigkeit immer neues Material schaffen. Siehe über diesen Gegenstand Purkinje *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne*, *Prag* 1823. *I.* Tourtual a. a. O. Vergl. über die in diesem Artikel verhandelten Gegenstände Heermann *über die Bildung der Gesichtsvorstellungen aus den Gesichtsempfindungen. Hannover* 1835.



2. Von den Nachwirkungen der Gesichtseindrücke oder den Nachbildern.

Die Dauer der Empfindungen in der Nervenhaut ist viel länger als die Einwirkung des Lichtes stattfindet; nach Plateau (Fechner's *Repert.* 2. 210.) dauert die Empfindung 0,32 — 0,35 Secunden über den Gesichtseindruck, und die Dauer der Nachwirkung nimmt in geradem Verhältniss zu mit der Dauer eines Gesichtseindruckes. Daher kann man das Nachbild eines hellen Gegenstandes, z. B. der lichten Fensterscheiben, sehr lange im Auge behalten, wenn man die Fenster vorher sehr lange unverwandt angesehen hat. Auch lässt sich die Dauer dieser Bilder bei geschlossenen Augen sehr verlängern, wenn man die geschlossenen Augen durch Hinab- und Hinaufbewegen der Hand abwechselnd beschattet und durch das durchwirkende Tageslicht erhellt. Aus der Dauer der Nachbilder erklärt sich die Erscheinung feuriger Kreise beim Bewegen eines Lichtes im Kreise vor den Augen, desgleichen die Vermischung der Gesichtseindrücke der Speichen eines schnell laufenden Rades und der Farben des Farbenkreisels. Bei einer nur momentanen Beleuchtung, z. B. durch den Blitz oder electrischen Funken wird die Vermischung der Bilder vermieden, und so lassen sich auch die Schwingungen einer Saite noch sehen.

Wird ein Körper mit reihenförmig bewegten Theilen sehr lange betrachtet, so behalten die Nachbilder auch einen Schein von Bewegung in derselben Richtung, indem sie der Reihe nach verschwinden. So lassen sich meines Erachtens gewisse Scheinbewegungen erklären. Hat man lange auf die Wellen eines fliessenden Wassers gesehen und sieht plötzlich ab auf den Boden, so scheint sich der Boden zu bewegen und zwar in entgegengesetzter Richtung als die Wellen des Wassers es thaten. Diese Erscheinung bemerkte ich oft, wenn ich aus dem Fenster auf den nahen bewegten Fluss und dann auf das Pflaster der Strasse sah. Ich sah sie auch beim Fahren im Dampfschiff auf der See, wenn ich lange die am Schiff vorbeiziehenden Wellen betrachtete und nun plötzlich auf das Verdeck des Schiffes sah. Nimmt man an, dass noch Nachbilder der Wellen im Auge waren, und dass sie der Reihe nach verschwinden, wie sie in Folge der Bewegung entstanden, so wird das Vorbeiziehen der Nachbilder beim Sehen auf den Boden den Schein hervorbringen müssen, als ob der Boden in entgegengesetzter Richtung sich bewege.

Man kann die qualitativen Unterschiede der Nachbilder in drei Classen bringen. Die Nachbilder sind entweder farblose von farblosen Bildern, oder farbige Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern, oder farbige Nachbilder nach farbigen objectiven Bildern.

I. Farblose Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes p.* 401.

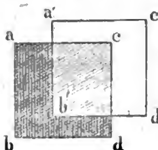
Die reinen Nachbilder weisser oder lichter Gegenstände sind auch licht oder weiss, die Nachbilder dunkler Gegenstände auch dunkel. So ist das Nachbild eines schnell bewegten Lichtes auch licht. Wird das Auge nach einer lebhaften Empfindung plötzlich in Ruhe versetzt, geschlossen und von der Helligkeit abgewandt, oder noch besser ganz verdeckt, so ist das Nachbild des Weissen und Lichten auch weiss und licht, das Nachbild des Dunkeln oder Schwarzen auch dunkel oder schwarz. Sieht man z. B. im Zimmer lange gegen die lichten Fensterscheiben und dunkeln Fensterrahmen, schliesst dann plötzlich die Augen, wendet sie vom Fenster ab und bedeckt sie mit der Hand, so dass durchaus kein Licht mehr, selbst nicht durch die Dicke der Augenlieder ins Auge fällt, so erscheint das Nachbild der lichten Fensterscheiben auch licht, das Nachbild der dunkeln Fensterrahmen auch dunkel.

Dagegen kann sich die Beleuchtung der Bilder im Nachbild unter gewissen Bedingungen umkehren, und was vorher licht war schwarz, das Schwarze dagegen licht erscheinen. Diese Umkehrung der Nachbilder erfolgt jedesmal, wenn das Nachbild eines lichten Gegenstandes auf einem lichten objectiven Grunde gesehen wird, wenn man die Augen nicht schliesst, und sie bei Beobachtung des Nachbildes auf die weisse Wand oder auf eine weisse Papierfläche heftet. Daher erscheint das Blendungsbild der Sonne auf einer weissen Wand schwarz oder grau, während es dagegen im ganz dunkeln Raum weiss bleibt. So erscheinen ferner die Nachbilder der Fensterscheiben schwarz, der Fensterrahmen weiss, wenn man die geschlossenen Augen gegen das Licht des Fensters hält, so dass das Licht noch durch die geschlossenen Augenlieder durchwirkt und die Retina milde erhellt. Die Erklärung dieser Erscheinungen ist leicht. Die Stelle des Auges, welche Lichtes gesehen hat, ist hernach noch gereizt, die Stelle, welche Schwarzes gesehen hat, hernach ruhig und viel reizbarer. Sieht das Auge in diesem Zustande auf eine weisse Wand, so bringt das Licht der weissen Wand auf den gereizten Stellen der Netzhaut einen viel schwächern Eindruck hervor, als auf den Stellen der Netzhaut, welche ruhig und daher sehr reizbar sind. Daher sieht die ruhige Stelle der Netzhaut, die vorher Schwarz gesehen hatte, die weisse Wand lichter als diejenige Stelle der Netzhaut, welche vorher Licht gesehen hatte, und daher die Umkehrung der Nachbilder.

Aehnliche Erscheinungen kommen selbst beim plötzlichen Wechsel des Lichten und Dunkeln im ganzen Sehfelde vor. Aus dem Dunkeln kommend sehen wir wegen der grossen Reizbarkeit der Netzhaut alles überaus hell, und aus dem Hellen in mässiges Dunkel tretend erkennet man anfangs nichts, bis sich die Retina in der Ruhe erholt, und ihre Reizbarkeit sich auch für das mässig Helle gesteigert hat, das dann wohl erkannt wird. Ein Helles erscheint immer heller nach einem Dunkeln, ja selbst neben einem Dunkeln. Dieselben Erscheinungen kommen bei den andern Sinnen vor. Die Kälte wird am stärksten empfunden nach der Wärme, und ein geringer Unterschied bewirkt nach grosser Wärme das Gefühl der Kälte bei

einer Temperatur, die sonst für warm gelten würde. Die Unterschiede von hell und dunkel, warm und kalt sind daher relativ.

Die Nachbilder verändern übrigens ihren Ort in Bezug zum ganzen Körper mit jeder Bewegung des Auges, und erscheinen aus leicht einzusehenden Gründen immer da, wo man die Netzhaut hin wendet. Man betrachte ein schwarzes Quadrat auf einem weissen Felde, lange Zeit fixirend. Wendet man dann den Blick ein wenig ab, ohne dass das Auge das schwarze Quadrat ganz verlässt, vielmehr auf den Randtheil des Quadrats, so fällt ein Theil des Nachbildes als *a'c'd'* frei auf das weisse Blatt, der daher als lichter Rand an der einen Seite des objectiven Bildes hervorragt. In einem Stück decken sich das objective Bild und das Nachbild. Ein Stück des objectiven Bildes nämlich *abd* ist ganz frei geworden. Der freie Theil des Nachbildes *a'c'd'* erscheint dann sehr licht, der freie Theil des objectiven Bildes *abd* erscheint tief schwarz, der Theil hingegen wo sich Nachbild und objectives Bild decken, erscheint schwarzgrau, als wenn sich beide Zustände ausgleichen sollten. Die Erklärung ist diese. Die Stelle der Netzhaut *a'c'd'*, welche vorher Schwarz gesehen, sieht das Weisse heller, weil sie ruhig ist, daher der lichte Saum *a'c'd'*. Die Stelle des Bildes, wo sich das objective Quadrat und das subjective Quadrat decken, ist nicht verändert. Die frei gewordene Stelle des objectiven Bildes *abd* erscheint schwärzer als zuvor, denn indem der Blick sich nach der Seite gewandt hat, fällt dieser Theil des objectiven Bildes auf eine Stelle der Netzhaut, welche vorher den weissen Grund gesehen hatte, und welche daher abgestumpft ist.



II. Farbige Nachbilder nach farblosen objectiven Bildern.

Goethe *Farbenlehre p.* 14.

Wenn die Netzhaut von einem sehr heftigen lichten Eindruck z. B. dem Lichte des Sonnenbildes afficirt war, so erscheint das Nachbild nicht bloss entweder licht auf dunkelm Grunde, oder dunkel auf weissem Grunde, sondern das Nachbild nimmt bis zur vollständigen Erholung der Netzhaut subjective Farben an, und die Farben sind die Zustände, welche die Netzhaut von der Blendung bis zur Erholung durchläuft. Auf das dunkle Nachbild der Sonne auf lichtem Grunde folgen sich dunkele Farben bis zur hellsten in folgender Ordnung: schwarz, blau, grün, gelb, weiss. Die Farbenerscheinung entwickelt sich vom Rand aus. Ist das Nachbild weiss geworden, so unterscheidet es sich nicht mehr von der weissen Wand, d. h. diese Stelle der Netzhaut sieht die weisse Wand jetzt gerade so, wie alle anderen nicht geblendeten Stellen der Netzhaut. Sieht das Auge aus der Sonne ins ganz Dunkele, so ist die Folge der Farben vom Weissen und von der hellsten bis zur dunkelsten Farbe, zuletzt bis zum Schwarzen, nämlich weiss, gelb, orange, roth, violet, blau, schwarz. Ist das Nachbild vom Blauen ins Schwarze übergegangen, so un-

terscheidet es sich nicht mehr vom dunkeln Grunde, d. h. diese Stelle der Netzhaut ist so ruhig wie alle anderen, welche vorher gar nicht gereizt waren.

Auch diese Erscheinungen, welche sich aus objectiven Ursachen gar nicht erklären lassen, zeigen wieder, dass die innere Ursache der Farben in den Zuständen der Netzhaut selbst liegt.

III. Farbige Nachbilder nach farbigen objectiven Bildern.

Die Nachbilder von farbigen objectiven Bildern sind immer farbig, und zwar zeigt das Nachbild niemals die Wiederholung der objectiven Farbe, sondern immer den complementären Gegensatz der primären Farbe. Das Nachbild von Roth ist also grün, von Grün ist roth, das Nachbild von Gelb ist violet, von Violet ist gelb. Das Nachbild von Blau ist orange, von Orange ist blau. Die sich gegenseitig hervorrufenden Farben sind in beistehender Figur gegenübergestellt.



Blickt man längere Zeit auf ein lebhaft rothes Feld auf weissem Grunde und wendet dann plötzlich den Blick ganz zur Seite auf den weissen Grund, so erscheint das Nachbild des Quadrats in derselben Grösse und Gestalt aber grün. Wird der Blick nur wenig zur Seite, z. B. auf die Seite des objectiven Bildes gewendet, so decken sich objectives Bild und Nachbild zum Theil, wie in beistehender Figur, aber ein Theil des objectiven Bildes *R* ist frei, ein Theil des Nachbildes ist ebenfalls frei *G*, und dieser Theil erscheint als einseitiger grüner Saum des rothen objectiven Bildes. Da, wo sich das objective Bild und das Nachbild decken, ist die Farbe des objectiven Bildes vorhanden, aber ins graue geschwächt, weil die Netzhaut an dieser Stelle für Roth durch das grüne Nachbild abgestumpfter ist, als an der jetzt frei erscheinenden Stelle des objectiven Bildes *R*, welche auf einem Theil der Netzhaut liegt, der vor der Wendung des Blickes den weissen Grund sah.

Die Erklärung dieser Erscheinungen kann eine doppelte seyn, eine Erklärung leitet sie aus physikalischen, die andere aus physiologischen Principien ab.

1. *physikalische Erklärung.* Das weisse Licht enthält alle Farben zugleich. Sieht die Netzhaut von einem objectiven rothen Bilde weg, so ist sie für das rothe Licht abgestumpft, aber für die andern farbigen Lichter noch empfänglich, sieht diese Stelle der Netzhaut nachher auf eine weisse Wand, so erkennt sie wegen der Abstumpfung für Roth, das im weissen Licht der Wand enthaltene Roth nicht mehr, wohl aber sieht sie die im weissen Licht noch enthaltenen übrigen Farben, den complementären Theil zu Roth nämlich Grün.

2. *physiologische Erklärung.* Das Sehen einer der drei Haupt-

farben ist nur einer der drei Zustände, zu welchen die Netzhaut im Zustande der Reizung tendirt; ist dieser Zustand künstlich erregt, so befindet sich die Netzhaut im Maximum der Tendenz zu der complementären Farbe, die daher in dem Nachbilde auftritt. Beide Erklärungen sind im Allgemeinen genügend, und die erstere scheint sogar bestimmter und wahrscheinlicher; indess wird doch die physikalische Erklärung aus Thatsachen unwahrscheinlich. Denn wenn die weisse Wand die Ursache des farbigen Nachbildes ist, so darf die complementäre Farbe des Nachbildes nicht mehr auf schwarzem Grunde erscheinen. Ich habe indess gezeigt, dass das Nachbild einer Farbe selbst auf einem schwarzen Felde complementär ist, Muell. *Archiv* 1834. *p.* 144. und es bleibt complementär, wenn man in einen durchaus dunkeln Raum sieht.

Für die Erscheinungen der farbigen Nachbilder sind nicht alle Menschen gleich empfänglich. Manchem ist es schwer diese Phänomene zu zeigen, andere sehen sie auf der Stelle. Wenn man sie aber einmal beobachtet hat, so sieht man sie ungemein leicht wieder. Die meisten Menschen sind mit den Nachbildern aus Mangel an Aufmerksamkeit wenig bekannt. Aber wer sie und ihre Gesetzmässigkeit einmal kennt, wird bis zur Qual oft von ihnen verfolgt. Dahin gehören die lichten Ränder der Gegenstände in der Dämmerung, was von dem Aufblitzen des Nachbildes an dem einen oder andern Rande herrührt, ferner der zuweilen beobachtete, und manchen Menschen mysteriös gewordene Schein um Gegenstände, das sogenannte Leuchten der Blumen in der Dämmerung und dergleichen. Der vor einem Bilde Andächtige kann das Nachbild desselben da sehen, wo er sein Auge hinwendet.

3. Von der Wechselwirkung der verschiedenen Theile der Nervenhaut unter sich.

Obgleich die Theilchen der Netzhaut unveränderlich jedes seine Stelle im Sehfelde repräsentiren, so giebt es doch eine gewisse Wechselwirkung derselben gegeneinander, vermöge welcher der qualitative Zustand des einen auf den Zustand des andern Einfluss hat, und das Bild auf dem einen, durch das Bild auf dem andern modificirt wird. Eine grosse Menge von Erscheinungen, die man bisher als verschieden von einander angesehen, können unter diesen gemeinsamen Begriff gebracht werden, wie das Verschwinden der Bilder, die Vertauschung ihrer Farben gegen die des Grundes, das Hervortreten entgegengesetzter Farben unter gewissen Umständen, die farbigen Schatten, die Wirkung des Hellen auf die Empfindung des Dunkeln und umgekehrt.

Man kann diese Erscheinungen wieder unter zwei Classen bringen. Bei der einen theilt sich der Zustand des grössern Theils der Netzhaut dem kleinern Theil der Netzhaut mit, bei der andern ruft der Zustand des grössern Theils der Netzhaut den entgegengesetzten Zustand in dem kleinern Theil der Netzhaut hervor.

A. Mittheilung der Zustände zwischen verschiedenen Theilen der Nervenhaut. Irradiation.

Wenn in einem Bilde zwei entgegengesetzte Eindrücke nebeneinander stattfinden, so hat unter gewissen Umständen der eine auf den andern Einfluss. Bietet das Bild zur Hälfte den einen, zur andern Hälfte den andern Eindruck dar, so findet diese Einwirkung nicht statt, denn beide halten sich gleichsam das Gleichgewicht. Nimmt aber der eine Eindruck nur einen kleinen Theil der Netzhaut, der andere den grössten Theil der Netzhaut ein, so kann bei sehr langem Betrachten der Eindruck, welcher den grössten Theil der Netzhaut einnimmt, sich über die ganze Netzhaut verbreiten und das kleine entgegengesetzte Bild ganz verschwinden, an dessen Stelle dann die Beleuchtung des Grundes tritt. Die seitlichen Stellen der Netzhaut, welche ausser der Achse liegen, sind mehr als der mittlere Theil derselben zu diesen Erscheinungen geeignet, aber kein Theil der Netzhaut ist davon ausgenommen. Am leichtesten erscheint das Phänomen jedoch auf der Eintrittsstelle des Sehnerven.

1. Verschwinden der Gesichtsobjecte ausser der Eintrittsstelle des Sehnerven.

Man betrachte einen Schnitzel farbigen Papiers auf einem weissen Grunde lange Zeit bis zur Ermüdung des Auges; auf einmal verschwindet der farbige Eindruck auf eine kurze Zeit ganz, und an seine Stelle tritt der weisse Grund, so dass das farbige Bild vom weissen Grunde wie weggewischt wird. Gelingt das Phänomen auf den seitlichen Theilen der Netzhaut ausser der Mitte am leichtesten, so ist doch auch der mittlere Theil der Nervenhaut dazu fähig, wie man bei dergleichen Versuchen bald findet. Purkinje hat diese Phaenomene beschrieben. Sie beweisen, dass bei längerer Dauer der Einwirkung, die Netzhauttheilchen ihre Zustände einander mittheilen und dass die Thätigkeit ihrer Theilchen in einem sehr beschränkten Grade einer Irradiation in die Breite fähig ist. Farbige Bilder auf weissem Grunde sind dazu am meisten geeignet, eine kleine schwarze Figur verschwindet sehr schwer und sehr spät auf weissem Grunde, weil die Empfindung eines Eindrucks lebendiger ist, wenn sein Gegensatz zugleich empfunden wird. Das Verschwinden dauert übrigens nur einige Secunden, dann taucht das objective Bild sogleich wieder hervor.

2. Verschwinden der Gesichtsobjecte in der Eintrittsstelle des Sehnerven.

Das Verschwinden der Gesichtsobjecte in der Eintrittsstelle des Sehnerven ist länger bekannt und von Mariotte entdeckt. Aber diese Stelle der Nervenhaut hat diese Eigenschaft nicht vor den übrigen voraus, sondern besitzt sie nur in einem höherm Grade. Betrachtet man mit einem Auge einen Punct so, dass

● +

ein davon seitlich liegender Gegenstand sein Bild auf die Eintrittsstelle des Sehnerven

werfen muss, so verschwindet das Bild plötzlich oder wenigstens sehr bald. Schliesst man z. B. das linke Auge und fixirt den beistehenden Punct in einer Entfernung von 5 Zoll vom Auge sehr scharf und unverwandt mit dem rechten Auge, so verschwindet das Kreuz und an dessen Stelle tritt die Farbe des Grundes. Die Entfernung des Gegenstandes vom Auge muss etwa 5 Mal so gross seyn, als die Entfernung des Kreuzes und Punctes. Dass es die Eintrittsstelle des Sehnerven ist, wovon diess abhängt, erkennt man sogleich, wenn man umgekehrt das Kreuz fixirt. Dann verschwindet der Punct entweder gar nicht, oder nicht schneller als an jeder andern Stelle der Netzhaut.

Mit Unrecht hat man aus dieser Erscheinung gefolgert, dass die Eintrittsstelle des Sehnerven ganz unempfindlich sei, denn sie empfindet in der That, aber die Farbe des Grundes, oder des im übrigen Theil der Netzhaut, oder in den nächstliegenden Theilen der Netzhaut vorwaltenden Eindrucks.

Aus diesen Erscheinungen folgt, dass die Netzhauttheilchen eines gewissen Grades der Wechselwirkung fähig sind. Diese Wechselwirkung kann aber auch in einer ganz andern Weise erfolgen, wie in den in dem folgenden Artikel zu beschreibenden Erscheinungen.

B. Erregung entgegengesetzter Zustände in nebeneinander liegenden Theilen der Netzhaut.

Bei den vorher beschriebenen Phänomenen pflanzt sich der vorwaltende Eindruck ohne Veränderung in die Breite fort und vertilgt den weniger ausgedehnten davon verschiedenen Eindruck. In den jetzt zu beschreibenden Erscheinungen verändert der eine Eindruck den andern so, dass der zweite bleibt, aber zugleich den Gegensatz des ersten zeigt. Die erst genannten Erscheinungen treten nur allmählig und bei sehr langer Betrachtung der Bilder ein, die letzt genannten erfolgen augenblicklich und dauern.

1. Helle und dunkle durch Contrast sich hebende Bilder.

Ein graues Feld auf weissem Grunde erscheint dunkler gegen den weissen Grund, als wenn man dieselbe Tinte, das Grau allein über das ganze Sehfeld verbreitet betrachtet. Jeder Schatten hebt sich durch Contrast stärker hervor, je heller die Beleuchtung ist, die ihn verursacht. Hieher gehört folgende Erscheinung, die als Beispiel für viele andere gelten kann. Man beleuchte ein weisses Papier mit einem Kerzenlicht, das Papier macht den Eindruck des Weissen, stellt man nun ein zweites Kerzenlicht davon entfernt auf, und bewirkt man durch einen Körper einen Schatten, so ist dieser grau, obgleich die Stelle des Schattens doch so vollkommen wie vorher von dem ersten Kerzenlicht beleuchtet wird. Dieselbe Stelle erscheint nun grau, die vorher ohne Gegensatz weiss erschien. Daher erscheint auch ein Schatten auf weissem Felde viel dunkler, als wenn man ihn durch eine Röhre allein betrachtet.

Viele andere hieher gehörige Erscheinungen hat Tourtual in seiner Schrift über *die Erscheinung des Schattens. Berlin* 1830. erläutert.

2. Physiologische Farben durch Contrast.

Betrachtet man einen sehr kleinen matt grauen Papierschnizzel auf einem grossen lichtfarbigen Felde, so erscheint der graue Papierschnitzel nicht mehr ganz grau, sondern mit einer leichten farbigen Tinte, welche der Contrast der objectiven Farbe des Feldes ist. So z. B. erscheint der graue Papierschnitzel leicht röthlich auf grünem Felde, dagegen grünlich auf rothem Felde, mit orangefarbener Nebentinte auf hellblauem Felde, und mit bläulicher Tinte auf orangenem Felde, gelblich auf hellviolettem Felde, violet auf hellgelbem Felde. Um diese Erscheinung zu sehen, ist es nöthig, dass der farbige Grund eine sehr reine helle viel weisses Licht zugleich enthaltende Farbe habe. Nicht jedes farbige Papier taugt dazu. Am deutlichsten ist die Erscheinung, wenn man ein farbiges mit dünnem Papier bedecktes Glas vor ein Lampenlicht hält, und eine Stelle des Glases und Papiers mit einem Papierschnitzel bedeckt. Der Papierschnitzel erscheint dann leicht in der Farbe des Contrastes. Die auf p. 368. befindliche Figur zeigt die Farben, welche physiologisch Contraste bilden, die Contraste stehen sich gegenüber. Die physiologischen Contraste sind dieselben, welche wir oben als complementäre Farben kennen gelernt haben. Die hervorgerufene Contrastfarbe giebt mit der ursprünglichen zusammen immer die Summe der drei Hauptfarben Blau, Roth, Gelb. Die Contrastfarbe zu Gelb ist z. B. Violet, welches Blau und Roth enthält. Gelb und sein Contrast sind daher zusammen so viel als Gelb, Blau, Roth oder als alle Farben zugleich. So sind Roth und sein Contrast Grün (gelb und blau) die Summe aller Hauptfarben, Blau und sein Gegensatz Orange (gelb und roth) bilden wieder die Summe aller Hauptfarben.

Da die Contrastfarben rein subjectiv sind, so folgt aus diesen Erscheinungen, dass die Farbe des Contrastes als entgegengesetzter Zustand in der Retina durch die objective Farbe hervorgerufen wird, und dass die in der Netzhaut entstehenden Gegensätze durch Wechselwirkung sich das Gleichgewicht halten. Diese Erscheinungen beweisen wieder, dass die Farben physiologisch nur bestimmte Zustände der Nervenhaut sind, welche sich in verschiedenen Netzhauttheilen wechselseitig hervorrufen können. Eine nothwendige Bedingung zur Erscheinung des physiologischen Contrastes ist relative Ruhe an der Stelle, wo der Contrast hervortreten soll, die relative Ruhe ist das Grau, und nur Grau zeigt den Contrast einer objectiven Farbe farbig. Eine zweite Bedingung ist, dass die objective Farbe sehr licht sei.

Hieher scheinen auch einige von Smith, Brewster und mir beobachtete Erscheinungen zu gehören, worüber in Muell. *Archiv* 1834. *p.* 144. 145. berichtet ist.

3. Farbige Schatten.

Das Phänomen der farbigen Schatten gehört in dieselbe Kategorie, wie die vorhererwähnten Erscheinungen. Doch sind nicht alle farbigen Schatten von dieser Art und eine gewisse Classe derselben hat nur seine Ursache in der farbigen Beleuchtung eines Schattens.

a. *Objective farbige Schatten.*

Wird der Schatten eines Körpers, der von farblosem oder farbigem Lichte erregt wird, selbst wieder von einem andern farbigen Lichte erhellt, so hat er natürlich einen farbigen Schein. In der Dämmerung des Himmelslichtes erscheinen die Schatten der Körper bei Kerzenlicht blau und gelb, je nachdem der Schatten vom bläulichen Himmelslicht, oder vom Kerzenlichte beleuchtet wird. Es entstehen nämlich bei doppelter Beleuchtung zwei Schatten mit verschiedenen Farben. Der eine Schatten eines Stäbchens auf weissem Papier ist unter diesen Umständen, indem er nicht vom bläulichen Himmelslichte, wohl aber vom Kerzenlichte beschienen werden kann, gelb, der zweite Schatten ist blau, weil er vom gelben Kerzenlicht nicht beschienen werden kann, wohl aber vom bläulichen Himmelslicht beschienen wird. Alle übrigen Stellen des Papiers zeigen keine vorwaltende Farbe, weil sie von beiderlei Licht zugleich beschienen werden. Die vollkommen objective Natur dieser Schatten hat Pohlmann Poggend. *Ann.* 37. 319. nachgewiesen.

b. *Subjective farbige Schatten.*

Lässt man ein farbiges Licht (durch ein farbiges Glas oder auch durch Reflexion) auf eine weisse Tafel fallen, und erzeugt auf der nun farbig erscheinenden Fläche einen Schatten durch einen aufgestellten schmalen Körper, beleuchtet darauf diesen Schatten mit weissem Tageslichte, so ist der Schatten von der complementären Farbe der ursprünglichen,

d. h. grün bei ursprünglichem rothem Licht,
roth — — — — grünem Licht,
violet — — — — gelbem Licht,
gelb — — — — violetem Licht,
orange — — — — blauem Licht,
blau — — — — orangenem Licht.

Die Versuche gelingen auch bei Beleuchtung des Schattens durch Kerzenlicht. Die Beleuchtung des Schattens durch farbloses Licht ist eine nothwendige Bedingung der Erscheinung. Wird im absolut dunkeln Raum farbiges Licht eingelassen und in diesem ein Schatten bewirkt, so ist er wie Grotthuss gezeigt hat, nicht farbig. Es gehört also eine Mitwirkung des weissen Lichtes zur Erzeugung des Phänomens, sei es, dass dadurch auf das farbige Licht eingewirkt, oder dass die schattige Stelle der Retina dadurch erregt wird. Einige ältere Erklärungen der Erscheinungen können völlig übergangen werden. Die Erklärung derselben kann nur auf einer objectiven Veränderung, gegenseitigen Verände-

rung des farbigen und weissen Lichtes, oder auf den physiologischen Erscheinungen des Contrastes basiren.

Eine Erklärung aus objectiven Ursachen in dem eben angedeuteten Sinne versuchte v. MÜNCHOW. Seine Ansicht beruht auf der von ihm aufgestellten Hypothese, dass farbiges Licht in dem Raum, den es einnimmt, die Eigenschaft besitze, von anderem diesen Raum durchdringenden farblosen Lichte den ihm selbst homogenen Antheil unwirksam zu machen, und nur das complementäre Licht durchzulassen. Siehe POHLMANN *a. a. O. p.* 323. Nach dieser Hypothese von MÜNCHOW würde das blaue Licht mit weissem Licht zusammentreffend, sich mit dem blauem Lichte das im Weiss enthalten ist, neutralisiren, so dass die complementäre Farbe des blauen Lichtes Orange übrig bliebe. v. MÜNCHOW berief sich in Hinsicht der Möglichkeit dieser Einwirkung des von verschiedenen Seiten kommenden Lichtes aufeinander auf den Versuch von FRAUENHOFER, wonach ein Lichtstrahl einen andern von seiner Bahn ablenken kann. POHLMANN widerlegt jene Hypothese durch einen Versuch. Das farbige Licht einer Glasscheibe beleuchtete eine weisse Fläche innerhalb eines Kastens, auf der Scheibe lag ein Streifen, welcher den Schatten auf die weisse Fläche des Kastens warf. Statt aber den Schatten vom farbigen Lichte durch das Tageslicht zu beleuchten, liess er dieses nur mittelst eines Rohres auf den Schatten zu, so dass das Rohr bis in den Schatten reichte. Freilich kann auch in diesem Falle durch Reflexion von den Wänden des Kastens farbiges Licht in den Schatten gelangen, und hier dieselbe Wirkung auf das Tageslicht hervorbringen.

Die gewöhnlichste Erklärung der farbigen Schatten ist die aus dem physiologischen Contrast, so dass die complementäre Farbe des Schattens für bloss subjectiv gehalten wird. Sie ist von RUMFORD, GOETHE, GROTTHUSS, BRANDES, TOURTUAL und POHLMANN vorgetragen und die meisten Physiker theilen sie.

Für diese Erklärung lässt sich anführen, was schon RUMFORD beobachtete, dass die Farbe des Schattens von einem farblosen Schatten nicht unterschieden werden kann, wenn man den Schatten allein ohne den farbigen Grund durch ein Rohr ansieht.

Diese Erklärung wird aus den im vorhergehenden Artikel betrachteten Erscheinungen sehr wahrscheinlich, bei welchen alle irreführenden Elemente des Versuchs fehlen, die bei den farbigen Schatten vorhanden sind. Ein kleines graues Feld auf einem hellen weisslich grünen Grunde hat einen rothen Schein, wenn die Farbe des Grüns viel Licht hat. Ist das Grün nicht licht und weisslich, so behält das graue Spectrum sein einfaches Grau. Um lichte Farben zu erhalten, kann man folgendermassen zu Werke gehen. Man halte ein grünes Glas dicht vor eine Lampe, auf dem grünen Glas ist ein kleiner Papierstreifen aufgeklebt, dieser wird durch ein farbloses Licht matt beleuchtet; er erscheint roth. Hier ist das Phänomen auf die einfachsten Bedingungen reducirt.

C. Angenehme Wirkung der physiologischen Contraste, physiologische Grundsätze der Farbenharmonie.

Goethe *Farbenlehre.*

Die in den vorhergehenden Artikeln beschriebenen Erscheinungen beweisen deutlich, dass die Nervenhaut des Auges durch eine einzelne Farbe in einen einseitigen Zustand versetzt wird und dass sie selbst zur Entwickelung der Gegensätze tendirt, welche diesen einseitigen Zustand complementiren. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn diejenigen Zusammenstellungen von Farben einen angenehmen und wohlthätigen Eindruck auf das Auge und auf die Seele machen, welche diese Gegensätze schon vollständig enthalten. Alle complementären Farben machen daher auch einen angenehmen Eindruck, und alle grellen nicht complementären Farben einen unangenehmen Eindruck, wenn sie herrschen. In diesem Sinne können die complementären Farben auch die harmonischen, die nicht complementären die disharmonischen heissen. Eine Zusammenstellung von complementären Farben ist eine harmonische, und andere Zusammenstellungen sind disharmonisch, je einseitiger und greller sie sind. Ein vorherrschendes brennendes Roth ist so unangenehm, als ein grelles herrschendes Gelb, ein uniformes herrschendes Blau. Daher schon der Sinn der Menschen, wo diese Farben allein in grösserer Ausdehnung angebracht werden sollen, sie durch Beimischung von Weiss oder Grau mildert und erträglicher macht. Dagegen wird das reinste Roth angenehm neben seinem complementären Grün, das Blau angenehm neben Orange oder Gold, das Gelbe angenehm neben Violet. Dergleichen harmonische Zusammenstellungen liegen in der p. 368. befindlichen Figur gegenüber, wie die complementären Farben und man sieht aus der Figur, welche Mischung harmonisch ist zu einer bestimmten andern Mischung. Geschmackvolle Frauen mildern die Farben ihrer Kleider, wenn sie einfarbig sind, durch Wahl der trüben Farben, oder stellen in ihren Kleidern, wenn sie reine Farben tragen, harmonische Farben zusammen, z. B. ein rothes Tuch auf einem grünen Kleide, Lila mit Gelb, Blau mit Orange. Welche Pracht und Anmuth liegt in der Verbindung von goldenem Orange und Blau, einer goldorangenen Frange an einer blauen Drapperie. Dagegen würde jeder die Tracht einer Frau, welche reines Gelb und Roth, oder reines Gelb und Blau, oder reines Blau und reines Roth enthielte, für hässlich und abgeschmackt halten. Nur in den Nationalzeichen und bei den Trachten der Soldaten sieht man solche auffallende Verbindungen gewählt.

Am auffallendsten und unangenehmsten sind die Zusammenstellungen von zwei reinen Farben, denen die dritte fehlt, wenn sie complementär seyn sollen, z. B. Gelb und Roth, oder Blau und Roth, oder Gelb und Blau. Diess sind reine Disharmonien. Eine Zusammenstellung von zwei Farben, wovon die eine den Uebergang zur andern bildet, ist weder harmonisch noch disharmonisch.

sondern gleichgültig, indifferent, z. B. Gelb und Grün, oder Roth und Orange, oder Violet und Blau. Eine Disharmonie kann aber durch das Dazwischentreten einer andern Farbe aufgehoben werden, welche zu einer der disharmonischen harmonisch, zur andern indifferent ist. Beispiele davon sind die Verbindungen Roth, Grün, Gelb, oder Gelb, Violet, Roth, oder Blau, Orange, Roth, oder Roth, Grün, Blau u. s. w. Die Disharmonie von Roth und Gelb löst sich auf durch das dazwischentretende Grün, welches harmonisch zu Roth und indifferent zu Gelb ist.

Die Maler machen von diesen physiologischen Grundsätzen bewusst oder unbewusst vielfachen Gebrauch, und der wohlthätige Eindruck der Farben in einer Malerei beruht in der geschickten Zusammenstellung der Harmonien und der Auflösung der Disharmonien. Oft ist diess Princip bis zur Beobachtung der farbigen Schatten angewandt worden. Die vorzugsweise Wahl trüber grauer Farben vermeidet den Irrthum der Disharmonien, verzichtet aber zugleich auf die ganze Macht der harmonischen Farbeneindrücke. Ausführlich hat über diesen Gegenstand Runge in seinem Werk über die Farben gehandelt, welches zu diesem Artikel vorzugsweise benutzt worden ist.

4. Von der gleichzeitigen Wirkung beider Augen.

Durch die gleichzeitige Wirkung beider Augen entstehen die Erscheinungen des Einfachsehens durch zwei Organe unter bestimmten Bedingungen, des Doppelsehens unter andern Bedingungen, und des Wettstreites der Gesichtsfelder beider Augen.

A. Vom Einfachsehen mit zwei Augen.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes. Leipz.* 1826. *p.* 71.

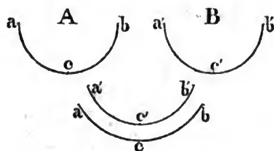
Das Einfachsehen bei zwei Organen glaubten Einige am leichtesten dadurch zu erklären, dass sie wie Gall annahmen, man sehe gar nicht mit beiden Augen zugleich, sondern nur entweder mit dem einen oder andern. Bei Menschen von sehr ungleicher Sehweite beider Augen kömmt ein solcher vorzugsweiser Gebrauch eines Auges wohl vor, aber bei der grossen Mehrheit der Menschen sind beide Augen beim Sehen desselben Objectes zugleich thätig, wie man sich aus den unter bestimmten Bedingungen entstehenden Doppelbildern leicht überzeugt. Von zwei hintereinander gehaltenen Fingern erscheint der erste doppelt, wenn der zweite fixirt und einfach gesehen wird, erscheint der zweite doppelt, wenn der erste fixirt und einfach gesehen wird, und das eine der Doppelbilder gehört dem einen, das andere dem andern Auge an.

Das Einfachsehen mit beiden Augen findet nur an bestimmten Stellen beider Netzhäute statt, andere Stellen der Netzhaut beider Augen sehen, wenn sie zugleich afficirt werden, immer doppelt. Es kömmt zunächst darauf an, diejenigen Stellen beider Netzhäute durch Erfahrung kennen zu lernen, welche die Eigen-

schaft haben, zugleich afficirt ihr Bild an demselben Ort des Sehfeldes zu sehen, man kann sie der Kürze des Ausdrucks wegen identische nennen. Auf folgende Weise lernt man diese Stellen kennen.

Wenn man im Dunkeln bei geschlossenen Augen eine bestimmte Stelle des Auges und somit der Netzhaut an sich mit dem Finger drückt, so entsteht ein feuriger Kreis im Sehfelde, und der der Druckstelle entsprechende feurige Kreis wird aus Gründen die p. 358. angegeben sind, scheinbar an der entgegengesetzten Seite des Gesichtsfeldes sichtbar. Drückt man nun in dem einen Auge den obern Theil mit dem Finger, im andern Auge den untern Theil, so sieht man zwei feurige Kreise, einen obern und einen untern, der obere gehört der untern Druckstelle des einen Auges, der untere der obern Druckstelle des andern Auges an. Diese Stellen beider Augen sind also jedenfalls nicht identisch; denn sie sehen ihre Affectionen an ganz verschiedenen Orten. Drückt man die äussere Seite beider Augen, so entstehen auch zwei Figuren, wovon jede der entgegengesetzten Druckstelle angehört. Drückt man die innere Seite eines jeden Auges, so entstehen auch zwei feurige Kreise an den äussersten Seiten des Sehfeldes, der rechte gehört dem rechten, der linke dem linken Auge an. So viel ist also gewiss, dass weder der obere Theil der einen Netzhaut und der untere der andern, noch die äussern Seiten beider Netzhäute, noch die innern Seiten derselben zusammen identisch sind. Sie sehen ihre Affectionen immer an differenten Orten und die Distanz der Orte beträgt sogar die ganze Breite des Sehfeldes.

Identisch sind dagegen die äussere Seite des einen Auges und die innere des andern, oder in beistehenden Figuren *a* des Auges *A* ist identisch mit *a'* des Auges *B*, *b* des Auges *A* identisch mit *b'* des Auges *B*. Identisch ist ferner das Obere des einen Auges mit dem Obern des andern, das Untere des einen Auges mit dem Untern des andern. Wird z. B. der Druck des Fingers im Dunkeln an beiden geschlossenen Augen unten angebracht, so erscheint nur ein feuriger Kreis oben in der Mitte des Sehfeldes; wird der Druck in beiden Augen oben angebracht, so erscheint nur ein feuriger Kreis unten in der Mitte des Sehfeldes. Desgleichen drückt man im Auge *A* die äussere Seite *a*, im Auge *B* die innere Seite *a'*, oder was dasselbe, in beiden Augen die linke Seite, so erscheint nur eine feurige Figur und sie liegt zur äussersten rechten. Drückt man hingegen *b* des einen, und *b'* des andern, oder die rechten Seiten beider Augen zugleich, so erscheint wieder nur ein Feuerkreis und zwar zur äussersten linken. Kurz man kann sich die Sphären beider Netzhäute gleichsam sich deckend denken, wie in der beistehenden Figur, so dass das Linke des einen mit dem Linken des andern, das Rechte des einen mit dem des andern, das



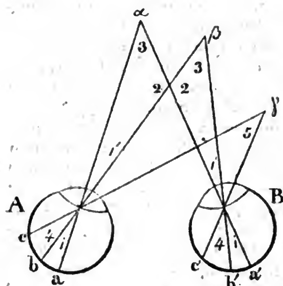
Obere beider Augen und das Untere beider Augen als identisch sich deckt. *a* deckt *a'*, *b* deckt *b'*, *c* deckt *c'*.

Die Puncte die zwischen *a* und *c* in einem Auge liegen, sind wieder identisch mit den entsprechenden zwischen *a'* und *c'* des andern, die Puncte zwischen *b* und *c* des einen identisch mit den entsprechenden des andern. Denn geht man beim Drücken mit dem Finger von identischen Stellen beider Augen aus, z. B. von der linken Seite beider Augen und rückt gleichmässig in beiden Augen mit dem Drücken nach oben fort, so bleibt die Druckfigur immer einfach und so kann man im Kreise herum gehen und die Figur immer einfach sehen. Sobald man sich aber von diesen identischen Stellen beider Augen mit dem drückenden Finger entfernt, so erscheinen sogleich Doppelbilder.

Durch diese Versuche kömmt man schon vorläufig zu der Ueberzeugung, dass das, was in vollkommen übereinstimmenden Stellen liegt, auch identisch ist. Vollkommen übereinstimmend ist aber, was an dem Sphärenabschnitt der Retina, in demselben Meridian und demselben Parallelkreis liegt, die Mitte der Retina als Pol betrachtet, oder was von der Mitte der Retina in gleicher Richtung gleich weit entfernt ist. Alle übrigen Stellen beider Netzhäute sind different, sind sie afficirt, so ist es gerade so gut, als ob verschiedene Stellen in einem einzigen Auge afficirt wären, und die Doppelbilder des Auges *A* und Auges *B* sind um so weit von einander entfernt, als das Bild des Auges *A* von der Stelle des Auges *A* entfernt ist, mit der die Stelle des Doppelbildes im Auge *B* identisch ist. Oder um auf die schon gebrauchten Figuren p. 377. zurückzukommen, ist *a* in dem einen Auge afficirt, *b'* in dem andern, *a* aber mit *a'*, *b* mit *b'* identisch, so ist die Entfernung der Doppelbilder *a* und *b'* gerade so gross, als die Entfernung von *a* und *b* in dem einen Auge, oder die Entfernung von *a'* und *b'* in dem andern. Denn es ist gerade so gut als ob in dem einen Auge *A* die Stellen *a* und *b* afficirt wären.

Die Anwendung auf die objectiven Gesichtserscheinungen ergiebt sich nun von selbst. Haben die Augen eine solche Stellung gegen das leuchtende Object, dass gleiche Bilder desselben Objectes auf identische Theile beider Netzhäute fallen, so kann das Object nur einfach gesehen werden, in jedem andern Falle aber werden Doppelbilder gesehen werden müssen. Die Stellung beider Augen gegen das Object, wobei identische Stellen beider Augen von demselben Object ein Bild erhalten, ist nun die, wenn die Achsen beider Augen in einem Puncte des Objectes zusammentreffen, wie es immer bei der Fixation des Gegenstandes geschieht.

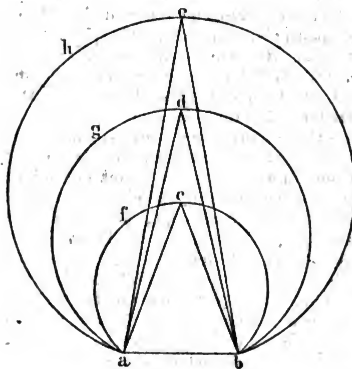
Die Augen *A* und *B* sollen mit ihren Achsen so gerichtet seyn, dass sie in *α* zusammentreffen, dann wird *α* einfach und an demselben Orte in der Mitte des Sehfeldes gesehen, weil *a* des einen und *a'* des andern Auges identisch sind. Aber auch noch andere zur Seite von *α* liegende Gegenstände z. B. *β* und *γ* erscheinen einfach. Liegt nämlich *β* so, dass sein Bild in beiden Augen gleich weit vom Mittelpuncte der Retina ab fällt, nämlich in *b* des einen Auges und *b'* des andern, so erscheint



β auch einfach auf identischen Stellen beider Netzhäute. Desgleichen erscheint γ einfach, wenn die Distanz von c bis a im Auge A so gross ist, als die Distanz von c' bis a' im Auge B.

Eine Linie oder Ebene, welche durch den Convergenzpunct beider Augenachsen oder durch den Fixationspunct gelegt wird, nannten die Aelteren den Horopter und man stellte sich vor, dass auch die seitlichen Gegenstände des Horopters einfach erscheinen. Genauere Zergliederung zeigt indess, dass der Horopter weder eine gerade Linie noch eine ebene Fläche ist, sondern dass er eine kreisförmige Fläche bildet, wie ich in meiner Schrift *über die Physiologie des Gesichtssinnes* zeigte. Es fragt sich nämlich, wenn abc des einen Auges gleich $a'b'c'$ des andern Auges und also $\angle 1 = \angle 1$ des andern Auges, $\angle 4 = \angle 4$, ob die Puncte α, β, γ in einer geraden Linie liegen können und in welcher Linie sie liegen.

$ab = a'b'$ nach der Voraussetzung, $\angle 1$ im Auge $A = \angle 1$ im Auge B, folglich $\angle 1' = \angle 1'$. Da nun $\angle 2 = \angle 2$, so muss $\angle 3 = \angle 3$ seyn. Ebenso lässt sich beweisen, dass der Winkel bei γ nämlich $\angle 5 = \angle 3$ ist. Denn $bc = b'c'$, $\angle 4 = \angle 4$.



Wenn aber die Winkel 3, 3, 5 gleich sind, so ist $\alpha\beta\gamma$ keine gerade Linie, denn nur ein Kreis hat die Eigenschaft, dass die auf eine Sehne desselben gegen die Peripherie gerichteten Dreiecke gleiche Winkel an der Peripherie haben *).

Der Horopter ist daher immer ein Kreis, dessen Sehne die Entfernung beider Augen oder richtiger der Kreuzungspunct der Lichtstrahlen in beiden Augen ist, und welcher durch drei Puncte

*) Die Entdeckung der wahren Form des Horopters wurde mir von mehreren Physiologen zugeschrieben und ich glaubte selbst lange, dass ich die Sache zuerst eingesehen. In Gehler's *physik. Wörterbuch. IV.* 2. *Leipzig* 1828. *p.* 1472. sehe ich indess, dass Vieth schon die Nothwendigkeit eingesehen, dass der Horopter ein Kreis ist. Gilbert's *Annalen* 58. 233.

bestimmt wird, durch die beiden Augen und durch den Fixationspunct der Sehachsen. Ist *ab* die Entfernung beider Augen, so ist der Kreis *f* der Horopter für den Convergenzpunct der Augenachsen in *c*, Kreis *g* ist der Horopter für den Convergenzpunct *d*, Kreis *h* der Horopter für den Convergenzpunct *e* u. s. w.

Das Einfachsehen an den identischen Stellen der Netzhäute beider Augen an einem Orte muss in der Organisation der tieferen Theile oder Hirntheile des Sehapparates, und jedenfalls einen organischen Grund haben. Denn nie ist es eine Eigenschaft paariger Nerven, dass sie ihre Affectionen an denselben Ort setzen. Auch ist es höchst unwahrscheinlich, dass die Identität der entsprechenden Stellen der Netzhäute die Folge einer gewissen Angewöhnung oder Vorstellung sei. Die Congruenz der Netzhäute zu einem Sehfelde, welchen Grund sie haben mag, ist vielmehr der Grund aller fernern Vorstellungen, die aus dem Einfachsehen und Doppeltsehen entstehen.

Man hat gegen die constante Identität der entsprechenden Stellen beider Netzhäute eingewendet, dass Doppeltsehen im Schwindel, in der Trunkenheit, in nervösen Krankheiten entstehe, wo doch die harmonischen Bewegungen beider Augen nicht aufgehoben seien. Treviranus. Wenn Doppelbilder entstehen müssen, sobald ein Gegenstand nicht fixirt wird, oder wenn er nicht im Horopter liegt, so ist das Doppeltsehen in keinen Zuständen natürlicher und nothwendiger, als im Schwindel, in der Trunkenheit, in den Nervenfiebern. Es ist auch nicht der Fall, was Treviranus und Steinbuch und vor ihnen Andere behauptet haben, dass die Identität der Sehfelder eine erzogene sei; und dass wenn im Anfange des Schielens Doppeltsehen stattfinde, sich später nach Massgabe der verkehrten Stellung der Augen eine neue, von der früheren verschiedene Identität der Netzhäute bilde, wodurch ungeachtet des Schielens das Einfachsehen hergestellt werde. Das Schielen ist relativ. Die Stellung unserer Augen behufs der Convergenz der Augenachsen im Object für einen sehr nahen Gegenstand ist schielend, in Beziehung auf die Stellung der Augen für die Fixation eines fernen Gegenstandes. Bei einer krankhaft schielenden Stellung der Augen nach innen, müsste das einfach erscheinen, was im Horopter dieser Augenstellung liegt, und man sieht nicht ein, für welche Entfernung sich nun eine neue Identität der Netzhäute bilden sollte, da das nicht schielende Auge in alle Entfernungen sieht. Auch beweisen die an Schielenden gemachten Beobachtungen nicht, dass das ursprüngliche Verhältniss der identischen Stellen beider Netzhäute aufgehoben wird, sondern dass das schielende Auge in der Regel unthätig wird. Ueber die Ursachen des Schielens siehe meine angeführte Schrift p. 216. Vergl. Priestley *Geschichte der Optik. Leipz.* 1777. *p.* 468. I. N. Fischer *Theorie des Schielens veranlasst durch einen Aufsatz des Gr.* Buffon. *Ingolstadt* 1781. Sehr oft ist mit dem Schielen ein presbyopischer oder myopischer Zustand des einen Auges verbunden. Das Sehfeld des schielenden Auges ist, da es eine ganz andere Sehweite hat, nicht oder wenig störend für das Sehfeld des gesunden Auges. So ist auch

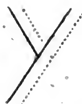
wenn man mit einem Auge durch das Mikroskop, mit dem andern daneben auf den Tisch sieht, das Sehfeld des letztern wenig störend, obgleich es an demselben Ort wie das erstere ist, weil bei der Accomodation des einen Auges für das Bild des Mikroskops das andere Auge dieser Accomodation folgt und daher den Tisch nicht deutlich sieht. Ein Schielender, den ich neulich untersuchte, sieht unter den gewöhnlichen p. 384. zu erörternden Bedingungen der Doppelbilder, von Gegenständen verschiedener Entfernung nie den einen doppelt, wenn er den andern mit einem Auge fixirt. Er unterscheidet also nur mit einem Auge, wenn beide offen sind.

Die Congruenz der identischen Stellen beider Netzhäute ist daher eine angeborne, und sie bleibt immer unverändert. Beide Augen sind gleichsam zwei Zweige mit einfacher Wurzel, und jedes Theilchen der einfachen Wurzel ist gleichsam in zwei Zweige für beide Augen gespalten.

Es sind mehrere Versuche zur Erklärung dieser wunderbaren Verkettung gemacht worden.

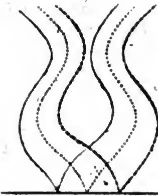
1) Da die Sehnervenwurzeln beider Seiten mit dem innern Theil ihrer Fasern sich kreuzen und zum entgegengesetzten Auge gehen, mit dem äussern Theil der Fasern aber an derselben Seite fortgehen, die linke Seite beider Augen also von derselben Sehnervenwurzel, die rechte Seite beider Augen von der andern Sehnervenwurzel versehen wird, so lag es nahe in der Vertheilung der Sehnervenwurzeln in beiden Augen die Ursache des Einfachsehens zu suchen. Diess ist die Theorie von Newton (*Quaest. opt.*) und Wollaston *Philos. Transact.* 1824. *Ann. de chim. phys.* 1824. *Sept.* Wollaston erklärte daraus das zuweilen vorkommende Halbsehen, wo nämlich die ganze eine Seite des Sehfeldes in beiden Augen bis zum Mittelpunct der Augen unthätig wird, und er vermuthet, dass der Hirntheil eines Sehnervens dabei unthäthig werde. Ueber Fälle von Halbsehen siehe Vater *oculi vitia duo rarissima, visus duplicatus et dimidiatus Viteb.* 1723. 4. *recus. in Hall. diss. med. pract. T.* 1. und *ann de chim. phys.* 1824. *Sept.*

2) Ich zeigte in der Schrift über den Gesichtssinn p. 94, dass diese Theorie ungenügend sei, und dass, wenn eine solche Theorie die Erscheinungen vollständig erklären sollte, jede eine Faser einer Sehnervenwurzel sich im Chiasma nervorum opticorum in zwei Zweige, für die identischen Stellen beider Augen theilen müsse, wie in beistehender Figur.



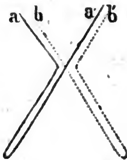
Eine Theorie welche auf das Verhältniss der Fasern gebaut ist, kann allein genügend seyn, aber es sind davon wieder mehrere Variationen möglich. Jene Ansicht von der Theilung jeder einzelnen Faser mag vielleicht auch Newton vorgeschwebt haben. Treviranus, Volkmann konnten keine Theilung der Fasern im Chiasma erkennen, und ich sehe sie ebenso wenig mit dem Compositum. Auch müsste, wenn die Theorie richtig wäre, die Sehnervenwurzel noch einmal so dünn, als der Augentheil des Sehnerven seyn. Man muss also bei dem einfachen ältern Factum stehen bleiben, dass die Sehnervenwurzel einer Seite sich am Chiasma in zwei Theile theilt, und dass der innere Theil

kreuzt, der äussere Theil an derselben Seite fortgeht. Siehe die Abbildungen dieses Verhaltens in meiner Schrift über den Gesichtssinn. Beim Pferd sah ich das Verhalten am deutlichsten. Der äussere obere Theil der Sehnervenwurzel geht deutlich auf derselben Seite weg, der untere innere geht auf die entgegengesetzte Seite.



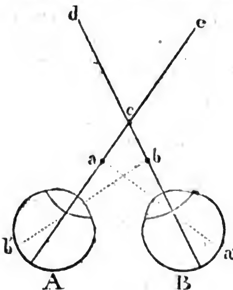
3) Eine andere Theorie ist die von Rohault (*Physic. p. I. Cap.* 31.), derselbe setzt voraus, dass jeder Sehnerve gerade so viele Fasern enthalte, als der andere, und dass die entsprechenden Fasern beider Nerven in demselben Punct des Sensoriums verbunden seien. Bei dieser Theorie wird auf die theilweise Kreuzung der Fasern im Chiasma nicht Rücksicht genommen.

4) Eine vierte Theorie würde eine Modification oder Verbesserung der beiden vorhergehenden seyn, und den Bau des Chiasma zugleich berücksichtigen. Die Fasern *a* und *a'* von identischen Stellen beider Augen kommend, gehen im Chiasma in die Sehnervenwurzel einer Seite ein, und hängen entweder durch eine Schleife im Gehirn zusammen, oder entspringen von demselben Puncte des Sensoriums oder demselben Ganglienkörperchen des Gehirns. Ebenso mit den identischen Fasern *b* und *b'*. In der linken Hirnhälfte würde das Bild der beiden linken Hälften der Augen, in der rechten Hirnhälfte der beiden rechten Hälften präsentirt werden.



5) Endlich liesse sich noch eine Theorie in der Art aufstellen, dass man eine commissurenartige Vereinigung von rechts und links zwischen den identischen Fasern beider Augen in der Mittellinie des Gehirns annähme.

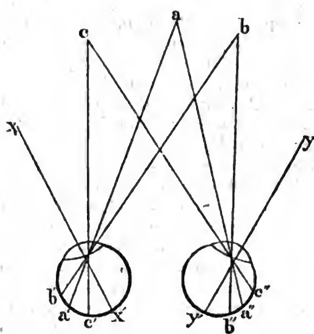
Porterfield (*a. a. O. II. p.* 293.) behauptet, die wahre Ursache, warum Objecte mit beiden Augen angesehen nicht doppelt gesehen werden, hänge allein von dem Vermögen ab, das wir besitzen sollen, die Gegenstände an dem Orte zu sehen, wo sie sind. Aber diese Ansicht schliesst keinen richtigen Sinn ein, und lässt sich auch leicht durch Erfahrung widerlegen. Denn wenn das Auge *A* den Gegenstand in seiner Achse *c*, und das Auge *B* denselben Gegenstand *c* in seiner Achse deswegen einfach sehen, weil sie ihn sehen, wo er ist, so müssen beide Augen auch den Gegenstand *a* und *b* getrennt sehen, weil sie diese da sehen, wo sie sind; allein diese Gegenstände erscheinen, wenn sie in den Achsen lie-



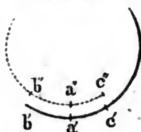
gen, nicht getrennt, sondern einfach, an demselben Orte, wo *c*, weil ihr Bild in beiden Augen auf dieselbe mittlere Stelle der Netzhaut fällt. Es erscheint zwar von *a* ein Doppelbild im Auge *B* nämlich im Puncte *a'*, und von *b* ein Doppelbild im Auge *A* nämlich im Puncte *b'*, aber die Bilder der Puncte *a* und *b*, welche auf die Mitte der Netzhaut beider Augen fallen, werden nicht gesehen, wo sie sind, sondern vielmehr in einen Ort vereinigt. Auch von *c* kann man nicht sagen, dass es einfach gesehen werde, weil man es sieht, wo es ist. Etwas sehen, wo es ist, kann doch bloss heissen, es in der Richtung sehen, welche es zum Auge hat. *c* wird aber in der Richtung *cc* vom Auge *A*, in der Richtung *cd* vom Auge *B* gesehen, es würde also gerade nach dieser Theorie doppelt gesehen werden müssen, während es doch aus vorher entwickelten Gründen einfach gesehen wird.

Der Grund des Einfachsehens auf identischen Stellen der Netzhäute muss also ein organischer sein. Mehrere Theorien sind im Stande diess aus einer supponirten organischen Structur zu erklären, aber von keiner lässt sich beweisen, dass sie die wirkliche ist und von mehreren lässt sich beweisen, dass sie jedenfalls nicht die wirklichen seyn können. Die Beschaffenheit, welche diese Erklärung haben muss, wird aber aus den vorhererwähnten Theorien hinreichend klar.

Bei den Säugethieren kann das Verhältniss der identischen und differenten Theile beider Netzhäute nicht dasselbe seyn, als beim Menschen, da ihre Augen meist divergiren und die Achsen beider Augen sich nie in einem Puncte eines Gegenstandes vereinigen. Betrachten diese Thiere einen Gegenstand, der in der Richtung der Achse des Körpers vor ihnen liegt, so fällt das Bild desselben in beiden Augen auf den äussern Theil des Auges. Z. B. das Bild von *a* auf *a'* und *a''* in beiden Augen, diese Stellen müssen identische seyn; in der That bewegt ein Hund seine Augen, je nachdem ein, in der Achse seines Körpers vor ihm liegender Gegenstand, nahe oder ferne ist, so wie wir es thun. Aber die Sehachsen sind nicht wie bei uns eins mit den Augenachsen, es sind nicht die Linien *xx'* und *yy'*, sondern die Linien *aa'* und *aa''*. Soll das Sehen des Hundes bei vor ihm liegenden, mit beiden Augen sichtbaren Gegenständen klar seyn, und sollen keine Doppelbilder entstehen, so muss *b'* in einem und *b''* im andern Auge wieder identisch seyn, denn auf diese Puncte fällt das Bild von *b*. Alle Theile des einen Auges, welche nur Licht von seitlichen Gegen-



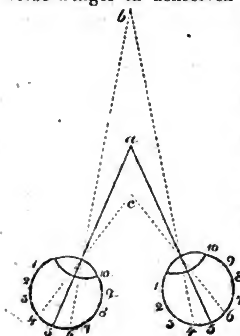
ständen erhalten, dürfen dagegen keine correspondirenden identischen Stellen im andern Auge haben. Denn sonst würde ein rechts und ein links liegender Gegenstand an demselben subjectiven Ort gesehen. Es giebt daher wahrscheinlich in den Augen der Thiere zum Theil identische, zum Theil aber ganz differente Stellen, ohne entsprechende Stellen im andern Auge. Lässt man bloss diejenigen Stellen beider Sehfelde eines Thieres sich decken, welche denselben Gegenstand sehen, so erhält man aus der vorhergehenden Figur die gegenwärtige.



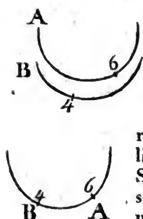
B. Vom Doppeltsehen mit zwei Augen.

J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes p.* 167.

In allen Fällen, wenn ein Gegenstand nicht im Horopter liegt, fällt sein Bild in beiden Augen auf differente Stellen, und er wird deswegen doppelt gesehen. Die Entfernung der Doppelbilder ist jedesmal eine ganz bestimmte, ist 6 die Stelle des Bildes in einem Auge, 4 die Stelle des Bildes im andern Auge und ist 6 des ersten Auges mit 6 des zweiten identisch, so ist die Entfernung der Doppelbilder jedesmal die Distanz von 4 und 6, d. h. wie sich die Distanz von 4 und 6 zum ganzen Durchmesser der Ebene einer Netzhaut verhält, ebenso verhält sich die Distanz der Doppelbilder zum ganzen Sehfeld. Die einfachsten Versuche zur Beobachtung der Doppelbilder sind diese. Man halte zwei Finger der Hände in gerader Linie vor die Augen, den ersten ganz nahe vor die Augen, den andern weit davon entfernt. Fixirt man den ersten, indem man die Augenachsen darauf richtet, so ist der zweite doppelt, fixirt man den zweiten, so erscheint der erste doppelt. Je grösser die Distanz beider Finger ist, um so grösser wird die Entfernung der Doppelbilder, je näher sich beide Finger rükken, um so näher rücken die Doppelbilder des doppelerscheinenden Fingers aneinander, bis sie zuletzt zusammenfliessen, wenn beide Finger in denselben Horopter treten.



Beweis. In der beistehenden Figur seien die Augenachsen gegen den Punct *a* gestellt. Hinter *a* ist ein Gegenstand *b*, *a* entwirft sein Bild auf identischen Stellen beider Augen, nämlich auf der Mitte beider Netzhäute in 5. Dieser Punct wird daher einfach gesehen. *b* wirft sein Bild im linken Auge auf 6, im rechten Auge auf 4. Nun sind 4 des einen Auges und 6 des andern Auges different, denn 4 ist mit 4 des andern Auges identisch, folglich wird *b* doppelt gesehen, und zwar verhält sich die Distanz der Doppelbilder zum ganzen Sehfeld, wie die Distanz von 4 und 6 zur Distanz 1 — 10.



Denkt man sich die Flächen beider Netzhäute auf einander gelegt, wie in beistehender Figur, so wird diess noch deutlicher. *A* sei die Retina des linken Auges der vorigen Figur, *B* die Retina desrechten Auges der vorigen Figur, 4 ist die Lage des Doppelbildes im rechten Auge, 6 ist die Lage des Doppelbildes im linken Auge. Da beide in der Figur sich deckenden Sehfelder in der Natur eines und dasselbe sind, so kann man diese Figur auch in die beistehende umändern, wobei zu merken ist, dass das Doppelbild 6 dem linken Auge, das Doppelbild 4 dem rechten Auge angehört.

Kreuzen sich die Sehachsen vor dem Gegenstande *c* in *a*, so wird *c* auch doppelt gesehen. Denn *c* wirft sein Licht im linken Auge auf 4, im rechten Auge auf 6; 4 ist nicht identisch mit 6, sondern 4 mit 4, und 6 mit 6 identisch. Die Distanz beider Doppelbilder ist wieder 4 — 5 im linken Auge + Distanz 5 — 6 im rechten Auge, oder beide Augen als eines angesehen 4 — 6, d. h. die Distanz 4 — 6 verhält sich zur Distanz 1 — 10, wie die Distanz der Doppelbilder von *c* zum ganzen Sehfeld.

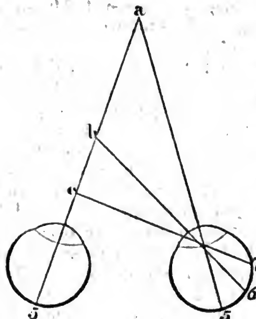
Was die Lage der Doppelbilder in Beziehung zu den Augen betrifft, welchen sie angehören, so gehört beim Kreuzen der Sehachsen zwischen Object und Auge, das linke Doppelbild dem linken Auge, das rechte Doppelbild dem rechten Auge an. Kreuzen sich hingegen die Augenachsen vor dem Objecte, so liegt das Doppelbild des rechten Auges auf der entgegengesetzten linken Seite, das Doppelbild des linken Auges auf der rechten Seite, wie man sich leicht durch Schliessen eines der Augen überzeugt.

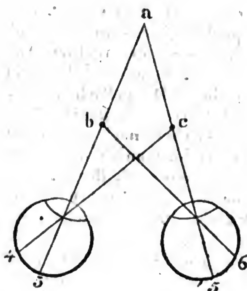
Diese Lage der Doppelbilder ist in theoretischer Beziehung von Wichtigkeit. Die Lage der Bilder im Verhältniss zu den Augen, in welchen sie existiren, lässt sich auf den ersten Blick am besten begreifen nach der Theorie, dass beim Sehen die Gegenstände in der Richtung, in welcher sie liegen und nicht nach der Lage der Netzhauttheilchen gesehen werden. So erscheint beim Kreuzen der Augenachsen vor dem Object *a* der Gegenstand *b* doppelt, und das Doppelbild liegt für die Achse *a*5 des linken Auges nach links, für die Achse des rechten Auges nach rechts, und so ist es auch, wenn man den Versuch anstellt. Es könnten daher die Erscheinungen beim Doppeltsehen als ein Beweis für die Wiederherstellung oder Correction des Verkehrtsehens, entweder durch die Richtung des Sehens nach aussen, oder durch den Lauf der Sehnervenfasern im Gehirn angeführt werden. Indessen lassen sich die Erscheinnugen auch nach der entgegengesetzten Theorie erklären, dass nämlich die Bilder oder Netzhauttheilchen da gesehen werden, wo sie sind und nicht wo die Gegenstände sind.

Bei dem vorhererwähnten Versuch wird das linke Doppelbild auf der linken Seite der Mittelachse gesehen, sein Gegenstand liegt also nach optischen Principien auf der rechten Seite. In der Gesichtsempfindung der Netzhaut selbst giebt es kein rechtes

und linkes Auge, beide sind identisch, insofern aber von unserm Körper Licht auf die Netzhaut fällt, und es also auch ein Bild unsers Körpers auf der Netzhaut giebt, so ist auch hier nach optischen Principien der Gegenstand auf der entgegengesetzten Seite des Bildes, also das sichtbare Rechts an unserm Körper eigentlich links, das sichtbare Links eigentlich rechts. Man kann daher die Thatsache des Versuchs, dass bei Kreuzung der Sehachsen hinter dem Objecte das linke Doppelbild verschwindet, wenn das linke Auge geschlossen wird, auch also ausdrücken. Wenn wir das Auge der scheinbar linken, oder wahren rechten Seite schliessen, so verschwindet das linke Doppelbild und diess beweist auch die Construction der Figur, denn das Doppelbild von *b* liegt im wahren rechten Auge *B* nach links in 4.

Die beschriebenen Versuche über die Doppelbilder lassen sich vielfach variiren. Aber alle diese Variationen sind von derselben Grundbedingung abhängig, dass die Bilder in beiden Augen auf nicht identische Theile fallen.





Sind die Achsen der Augen z. B. auf den Punct *a* gerichtet, so erscheinen alle in der Achse *abc* liegenden Puncte doppelt, denn ihre Bilder fallen in dem einen Auge auf die Mitte der Netzhaut bei 5, in dem andern Auge aber auf 6, 7, 8, 9 u. s. w.

Beide Augenachsen seien ferner auf *a* Fig. 2. gerichtet. Die Puncte *b* und *c* stellen Nadeln vor, die in der Richtung beider Augenachsen aufgestellt sind. Dann werden statt zwei Doppelbildern von *b*, und zwei Doppelbildern von *c*, oder statt vier Doppelbildern nur drei gesehen; dann *b* wird im linken Auge in 5, *c* im rechten Auge in 5 gesehen. 5 und 5 sind identisch, folglich sehen beide Augen diese Bilder an demselben Ort. *c* erscheint im linken Auge bei 4, im rechten Auge bei 6, folglich sieht man unter diesen Umständen drei Nadeln in der Ordnung und Distanz 4, 5, 6.

Dass die Doppelbilder immer undeutlich sind, ergiebt sich als nothwendig aus den früher geführten Untersuchungen. Denn sie liegen meist auf seitlichen Theilen des Sehfeldes und auch dann, wenn eines der Bilder in der Achse gesehen wird, so wird es nicht mit dem gehörigen Refractionszu-

stande gesehen, indem dieser laut früher berichteten Thatsachen sich regelmässig nach dem getroffenen Horopter ändert.

Die Erscheinungen des Doppeltsehens sind so nothwendig in der Organisation beider Augen begründet und hängen mit den Ursachen des Einfachsehens so innig zusammen, dass sie beim gewöhnlichen Gebrauch der Augen fort und fort eintreten müssen. So ist es auch. Aber wir beachten sie gewöhnlich nicht, weil die Doppelbilder undeutlich sind, und weil wir eben gewöhnlich die Augenachsen auf einen Gegenstand richtend ihn einfach sehen. In allen Fällen aber, wo zwei Gegenstände verschiedener Entfernungen zugleich gesehen werden, die nicht in demselben Horopter liegen, muss nothwendig der eine oder der andere doppelt erscheinen. Wie wenn wir durch ein Fenster auf einen Thurm sehen, wo entweder die Fensterrahmen oder der Thurm doppelt ist, je nachdem der letztere oder erstere fixirt werden. In allen Fällen, wo die Fixation der Augen auf die bestimmte Entfernung des Gegenstandes, oder das Treffen des Horopters aus innern Ursachen krankhaft verändert ist, müssen auch Doppelbilder eintreten, z. B. bei Betrunkenen, bei Nervenfieberkranken, in den Anfällen der Nervenkrankheiten, vor dem Einschlafen, beim Schielen. Dieses Doppeltsehen hängt in keiner Weise von einer Veränderung in den Centraltheilen des Nervensystems oder in der Netzhaut ab, sondern ist eine einfache Folge vom Verlust des Vermögens einen Gegenstand zu fixiren. Vor dem Einschlafen und beim Einschlafen werden unsere Augen jedesmal stark nach innen gewendet, daher erscheinen alle auch ziemlich nahen Gegenstände doppelt. Die stärkere Convergenz der Augen nach innen erkennt man an der Lage der Doppelbilder, wovon das linke dem linken Auge angehört. Auch bei dem Betrunkenen stehen die Augen nach innen. Vom Doppeltsehen mit zwei Augen muss man das Doppeltsehen oder Mehrfachsehen mit einem Auge unterscheiden. Die mehrsten Menschen sehen mehrere Bilder vom Monde selbst mit einem Auge, diese Bilder sind durch einander geschoben und decken sich nur zum Theil. Jedes hat seine besonderen Ränder. Bei mir wie bei vielen kömmt diese Erscheinung nur beim Sehen in so grossen Entfernungen vor. Bei anderen tritt die Erscheinung selbst bei näheren Gegenständen ein. Siehe Steifensand in Graefe und Walther's *Journ.* 1835., Muell. *Archiv* 1836. *CXLVIII.* Die Ursachen dieser Erscheinungen liegen im optischen Bau des Auges, wahrscheinlich in den verschiedenen Faserfeldern der Crystalllinse, aus welchen jede Schicht zusammengesetzt ist.

C. Von dem Wettstreit der Sehfelder beider Augen.

Eine der interessantesten Erscheinungen beim Sehen mit zwei Augen ist die, dass verschiedene Farbeneindrücke beider Augen auf identischen Stellen sich nicht zu einem gemischten Eindruck ausgleichen, sondern dass theilweise, oder ganz das eine Sehfeld mit dem einen Farbeneindruck vorwiegt, und der Zustand des andern Auges nur an andern Stellen des Sehfeldes zum Vorschein kömmt. Gelegenheit zur Beobachtung dieser Erscheinungen giebt

das Betrachten einer weissen Papierfläche durch zwei dicht vor die Augen gehaltene verschiedenfarbige Gläser, z. B. durch ein blaues und gelbes Glas. Siehe meine Schrift *Physiol. des Gesichtssinnes p.* 79., vergl. Muell. *Archiv* 1836. *CXLIV.* Volkmann und Heermann *a. a. O.* Statt dass man unter jenen Umständen das Papier grün sehen sollte, sieht man es theils blau, theils gelb. Zuweilen wiegt die blaue Farbe vor, zuweilen die gelbe, zuweilen wird eine blaue Wolke oder blaue Flecken auf gelbem Grunde, zuweilen das umgekehrte gesehen. Jetzt absorbirt das Blaue das Gelbe, jetzt das Gelbe das Blaue. Die Schwierigkeit der Nichtvermischung der verschiedenen Eindrücke an identischen Stellen beider Netzhäute erkannte ich auch bei der durch Schielen hervorgebrachten künstlichen Deckung zweier verschiedenfarbiger Doppelbilder. Eine Ausgleichung beiderlei Eindrücke, wie sie Huschke sah, nahm ich bei Doppelbildern als möglich, aber schwierig wahr. Heermann und Volkmann haben die Erscheinungen im Wesentlichen ganz so wie ich gesehen.

Werden die Versuche sehr lange mit farbigen Gläsern fortgesetzt, so dass man sehr lange einen weissen Papierbogen durch zwei dicht vor die Augen gehaltene farbige Gläser ansieht, so gleichen sich beide Eindrücke mehr aus (Völckers in Muell. *Archiv* 1838. 60.), wozu Anfangs nicht die geringste Neigung ist; aber auch jetzt blitzt von Zeit zu Zeit die eine der Farben das Uebergewicht erhaltend hervor, oder tritt fleckenartig auf. Die Vermischung hat kein weiteres physiologisches Interesse, wohl aber ist der Wettstreit beider Sehfelder, und das theilweise oder gänzliche Verdrängen der einen Farbe durch die andere von dem grössten Interesse, und zeigt uns auf das Deutlichste, in einem leicht zu beobachtenden Phänomen, die Art der gleichzeitigen Thätigkeit beider Augen. Denn dass sich beide Augen auch bei nicht verschiedenfarbigen Eindrücken in dieser Weise verhalten, ist schon aus dem Versuch zu schliessen und ergiebt sich auch aus anderen Thatsachen.

Das bald fleckenweise Hervortreten der einen Farbe auf der andern, bald gänzliche momentane Verdrängen der einen durch die andere und die schwierig zu Stande kommende Vermischung beider beweisen: 1. gleichzeitige Thätigkeit beider Augen in gewissen Zeitmomenten, denn Flecken, Wolken der einen Farbe werden auf der andern gesehen. 2. Gänzliches oder fast gänzliches Erlöschen des Eindrucks des einen Auges und Vorwalten des andern auf Zeitmomente. 3. Ausgleichung der Eindrücke beider Augen auf Zeitmomente. Da die Zustände beständig wechseln, so zeigen sie uns die Actionen beider Augen Phänomene des gestörten Gleichgewichtes, wie das Schwanken des Wagebalkens. Sehr schwer tritt die Ruhe oder das Gleichgewicht der Actionen ein, obgleich es möglich ist. Das Gleichgewicht wird aber theils durch innere, uns unbekannte Einflüsse gestört, theils wahrscheinlich dadurch, dass sich die Aufmerksamkeit dem einen oder andern Auge zuwendet. Die Erscheinungen des Wettstreits. um welche es sich allein hier handelt, sind übrigens bei vollkommen gleicher Sehkraft beider Augen deutlich und lebhaft, wie

bei mir. Das fleckige oder wolkige Auftreten einer Farbe statt der verdrängten andern, während an andern Stellen diese vorherrscht, zeigt uns ferner, wie eine Ungleichheit der Action auch in den einzelnen Theilen der Netzhaut möglich ist, wie denn überhaupt die Erscheinung zur Beobachtung der inneren Zustände der Netzhaut von der grössten Wichtigkeit ist.

Die Störung des Gleichgewichtes in der gleichzeitigen Thätigkeit der Gesichtsfelder tritt auch sonst häufig auf. Zuweilen verschwindet plötzlich eines der Doppelbilder beim Doppeltsehen. Sind beide Augen von ungleicher Sehweite, so ist bald das eine, bald das andere vorherrschend, und verdrängt vollends das Bild des andern Auges. Das herrschende Auge ist dasjenige, in dessen Sehweite ein Gegenstand gehört. Diesem wendet sich nun die Aufmerksamkeit zu. Zuweilen schwebt dann das Bild des undeutlich sehenden Auges noch nebenher, geht aber leicht ganz der Aufmerksamkeit verloren. So ist es auch bei Schielenden, das schielende Auge hat meist eine vom gesunden Auge ganz abweichende Sehweite, sein Bild ist undeutlich, wenn das andere Auge deutlich ist, es wird von der Aufmerksamkeit vernachlässigt. Das gänzliche Verschwinden desselben begreift man aus den Erscheinungen, die ich an den farbigen Gläsern erörtert habe. Diess ist sogar sehr oft eine Veranlassung zum Schielen, denn nun wird das unbrauchbare Auge nicht bei der Fixation der Gegenstände richtig angewandt und geräth in jeder Hinsicht ausser Gebrauch.

Auch beim Sehen durch Vergrösserungsgläser mit einem Auge kann man die Isolation des Sensoriums auf das Sehfeld eines Auges beobachten. Denn oft sieht das durchs Mikroskop sehende Auge allein, oder unterscheidet allein, und das andere Auge, nebenher sehend, erkennt nichts, wenigstens sein Bild nicht auf der Stelle, wo das mikroskopische Sehfeld des andern ist. Zuweilen hingegen tritt auch die Thätigkeit dieses Auges auf, und sein Bild schwebt gleichsam auf dem mikroskopischen Bilde, die Beobachtung störend.

5. Von den subjectiven Gesichtserscheinungen.

Purkinje *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. I. Prag* 1823. *II. Berlin* 1825.

Ziehen wir die Phänomene der Thätigkeit der Netzhaut, bei welchen das äussere Licht noch mitspielt, wie bei den Nachbildern, bei der Irradiation, bei dem Doppeltsehen ab, so bleiben noch viele subjective Gesichtserscheinungen übrig, welche uns Beispiele der Thätigkeit der Retina liefern, die durch Ursachen hervorgebracht wird, welche von dem aussern Licht ganz verschieden sind. Mit diesen Erscheinungen hat uns die angeführte Schrift von Purkinje vorzüglich bekannt gemacht, die auffallendsten hierher gehörigen Phänomene sind:

I. Die Druckfiguren.

So nannte Purkinje die durch Druck mit den Fingern am Auge hervorgebrachten Lichterscheinungen. Sie sind theils ring-

förmig, theils strahlig, und zuweilen regelmässig in quadratische Felderchen getheilt, so dass sie Purkinje mit den Klang-Figuren verglich. Wird ein mit Wasser bedeckter gläserner Teller mit dem Fidelbogen gestrichen, so theilt sich die Scheibe nicht bloss in schwingende und ruhende Stellen, sondern das Wasser zeigt auch auf den bewegten Theilen des Glases die regelmässigste Eintheilung in rhombische Figuren oder stehende Wellen. Die Figur im Auge erinnert an die Kreuzung von Wellen.

II. Die schon oben p. 350. beschriebene Aderfigur erscheint zuweilen leuchtend.

Purkinje sah sie so zuweilen beim Druck, besonders am Morgen, und ich sah sie öfter leuchtend im dunkeln Sehfelde, wenn ich nach dem Ersteigen einer Treppe mich plötzlich in einem dunkeln Raum befand, oder auch beim plötzlichen Untertauchen des Kopfes im Fluss. Die leuchtende Erscheinung wird offenbar durch den Druck der mit Blut gefüllten Gefässe auf die Retina hervorgebracht.

III. Lichterscheinung des Pulses.

Bei Congestionen nach dem Kopfe bemerkt man leicht eine mit dem Pulse isochronische Veränderung der Helligkeit des Sehfeldes, ein pulsirendes Hüpfen im Sehfelde. Diese Erscheinung ist sehr leicht zu beobachten. Einigemal sah ich eine ähnliche, aber mit dem Athmen und der sogenannten Hirnbewegung isochronische Veränderung des Sehfeldes oder ein rhythmisches Hervortreten eines kleinen lichten Fleckes in der Mitte des Sehfeldes im Dunkeln; aber die Erscheinung lässt sich nicht absichtlich hervorrufen und ist mir nur selten vorgekommen.

IV. Sichtbare Blutbewegung.

Einen allgemeinen Ausdruck der Blutbewegung sieht man bei vielen Gelegenheiten. Besonders beim Betrachten hell, aber keineswegs blendend erleuchteter Flächen, z. B. beim Betrachten des Himmels oder bei längerm unverwandtem Ansehen einer Fläche von Schnee oder Papier. Die Erscheinung besteht in einem undeutlichen Wirrwar, in einem Durcheinanderfahren, Vorüberfahren, Springen von Puncten, oder in einer unregelmässigen Bewegung wie von Dämpfen. Die Erscheinung ist so unbestimmt, dass sich die Richtung der Bewegung nicht angeben lässt. Sie rührt offenbar von der Blutbewegung her. Hieher ist auch die viel bestimmtere Erscheinung zu rechnen, welche man zuweilen bei Congestionen nach dem Kopfe oder Vollblütigkeit sieht, wenn man sich gebückt hat und plötzlich aufrichtet. Man sieht ein Springen und Fahren, wie von dunkeln geschwänzten Körpern in den mannigfaltigsten Richtungen. Das Analogon davon in den Gefühlsnerven ist das Ameisenlaufen.

V. Erscheinen leuchtender Kreise im dunkeln Gesichtsfelde bei plötzlicher Seitenbewegung der Augen.

Diese Erscheinung tritt jedesmal bei plötzlicher Wendung der Augen im Dunkeln ein. Die Affection muss an nicht identischen Stellen beider Netzhäute (Gegend der Eintrittsstellen der Sehnerven?) stattfinden, denn die Erscheinung wird nicht an demselben Orte, sondern doppelt gesehen.

VI. Electrische Figuren im Auge.

Sie sind von Ritter, Purkinje und Hjort untersucht. Liegt das Auge innerhalb eines galvanischen Stromes, indem z. B. beide Pole an der Conjunctiva beider Augenlieder applicirt werden, so wird beim Schliessen oder Oeffnen der Kette, ein blitzartiger Schein gesehen. Die Erscheinung erfolgt auch, wenn das Auge nicht direct in dem Strome zwischen beiden Polen liegt, nämlich durch Ableitung eines Theils der Electricität, z. B. wenn die Pole das untere Augenlied und die Schleimhaut des Mundes berühren. Schon ein einfaches Plattenpaar von Kupfer und Zink reicht am dunkeln Ort zur Erregung des blitzartigen Scheines hin. Lebhaftere Phänomene erhält man durch eine kleine Säule. Dann zeigt sich nach Purkinje's Versuchen beim Zinkpole der Schein als gelblicher Dunst, beim Kupferpol hell violet. Unter bestimmten Bedingungen, welche Purkinje angegeben, treten noch specielle örtliche Erscheinungen im Sehfelde, der Eintrittsstelle des Sehnerven und dem Achsenpunct der Retina entsprechend auf.

VII. Spontane Lichterscheinung im dunkeln Sehfelde.

Beobachtet man das Sehfeld der Augen bei geschlossenen Augen, so sieht man nicht bloss zuweilen einen gewissen Grad von Erleuchtung desselben, sondern auch zuweilen einen stärker sich entwickelnden Schimmer, ja zuweilen eine Ausbreitung des Schimmers in Form von Kreiswellen, welche sich von der Mitte nach der Peripherie entwickeln und verschwinden. Zuweilen erscheint der Schimmer mehr wolkenartig, nebelig, fleckig und selten wiederholt er sich bei mir mit einem gewissen Rhythmus. An diese noch mehr unbestimmte spontane Lichterscheinung im Auge schliessen sich die beim Einschlafen und vor dem Einschlafen sichtbaren Erscheinungen von bestimmterer Gestaltung an, indem aus den nebelartigen Gestalten, dem Traumchaos von Gruithuisen, unter Mitwirkung des Vorstellungsvermögens, bestimmtere Gestalten sich isoliren und verwandeln.

Eine diesen Erscheinungen entgegengesetzte ist das zuweilen bei nervenschwachen Personen vorkommende Vergehen des Gesichtes unter Erscheinung von Nebel, farbigem Rauch u. dgl., eine vorübergehende Ermüdung der Nervenhaut. Auch der Gesunde kann die Erscheinung künstlich herbeiführen durch sehr lange anhaltendes Betrachten eines weissen oder farbigen Feldes.

VIII. Flimmern vor den Augen nach dem Gebrauche der Narcotica.

Diese Erscheinung tritt am leichtesten beim Gebrauch der Digitalis ein. Purkinje hat darüber Beobachtungen an sich selbst angestellt. Bei stärkerem Grade der Einwirkung treten auch bestimmte Gestalten auf, Purkinje's sogenannte Flimmerrosen.

IX. Scheinbewegungen der Gegenstände nach häufigem Drehen des Körpers.

Diese Erscheinung ist schon oben gelegentlich erläutert. Man muss sie in Hinsicht ihrer Ursachen, die auch angegeben sind, wohl unterscheiden, von den Scheinbewegungen, die man sieht, wenn man vorher wahre Bewegungen beobachtet hat, Scheinbewegungen, welche von dem successiven Verschwinden der Nach-

bilder entstehen. Die Scheinbewegung nach dem Drehen des Körpers findet auch statt, wenn man sich bei geschlossenen Augen gedreht hat.

X. Mangel des Farbensinnes.

Es giebt viele Menschen, welche die Farben aus einer angebornen Disposition der Retina schlecht unterscheiden. Eine Untersuchung des jüngern Seebeck Poggend. *Ann.* 42. lieferte folgende Resultate aus zahlreichen Beobachtungen. Ausser solchen Personen, welche in der Bestimmung der Farben Schwierigkeit finden, ohne jedoch ungleiche Farben für gleich zu halten, kommen nicht selten solche vor, die bald in höherm, bald in geringerm Masse, gewiss ganz ungleiche Farben mit einander verwechseln. Aber nicht bloss in Beziehung auf die Stärke, sondern auch in Beziehung auf die Art dieser Verwechselungen sind Unterschiede bemerkbar. In der letzten Beziehung zerfallen die von Seebeck untersuchten Individuen, kleinere Verschiedenheiten nicht gerechnet, in zwei Klassen. Zur ersten Klasse gehören die Fälle, welche zwar in Beziehung auf den Grad der Verwechselungen ziemlich beträchtliche, aber in Beziehung auf die Art derselben nur unbedeutende Verschiedenheiten zeigen. Folgende Farben werden bei diesen leicht verwechselt:

Helles Orange und reines Gelb,
Gesättigtes Orange, helles Gelblich- oder Bräunlichgrün und Gelbbraun,
Reines Hellgrün, Graubraun und Fleischfarb,
Rosenroth, Grün (mehr bläulich als gelblich) und Grau.
Carmoisin, Dunkelgrün und Haarbraun,
Bläulich Grün und unreines Violet,
Lila und Blaugrau,
Himmelblau, Graublau und Graulila.

Diese Menschen haben einen sehr mangelhaften Sinn für den specifischen Eindruck aller Farben überhaupt, am unvollkommensten ist er für das Roth, und für das complementäre Grün, indem sie diese beiden Farben vom Grau wenig oder gar nicht unterscheiden; nächstdem für das Blau, das sie vom Grau ziemlich unvollkommen unterscheiden; am meisten pflegt ihr Sinn für das Eigenthümliche des Gelb empfindlich zu seyn, doch ist ihnen auch diese Farbe viel weniger vom Farblosen verschieden, als diess beim normalen Auge der Fall ist.

Die zur zweiten Klasse gehörigen erkennen Gelb noch am besten, sie unterscheiden Roth etwas besser, Blau etwas weniger vom Farblosen, vorzüglich aber Roth vom Blau viel unvollkommener, als die erste Klasse. Die von ihnen verwechselten Farben sind folgende:

Hell Orange, Grünlichgelb, Bräunlichgelb und reines Gelb,
Lebhaft Orange, Gelbbraun und Grasgrün;
Ziegelroth, Rostbraun und dunkel Olivengrün,
Zinnoberroth und Dunkelbraun,
Dunkel Carminroth und schwärzlich Blaugrün,
Fleischroth, Graubraun und Bläulichgrün,
Mattes Bläulichgrün und Grau (etwas bräunlich),

Unreines Rosa (etwas gelblich), und reines Grau,
Rosenroth, Lila, Himmelblau und Grau (etwas ins Lila fallend),
Carmoisin und Violet,
Dunkelviolet und Dunkelblau.

Sie haben, was bei der ersten Klasse nicht der Fall ist, nur eine geschwächte Empfindung von den wenigst brechbaren Strahlen.

Von den subjectiven Gesichtserscheinungen müssen ausgeschlossen werden die Bilder von Gegenständen, die im Innern des Auges selbst sich befinden und auf die Retina einen Schatten werfen. Hieher gehören fadenartige, verschlungene Figuren, in denen Reihen von Kügelchen enthalten zu seyn scheinen. Sie sind beweglich, sowohl in der relativen Lage der einzelnen Theile der Figur, als in Hinsicht ihrer Lage im Sehfelde. Durch eine kräftige Bewegung der Augen kann man sie etwas zur Seite oder in die Höhe bewegen, aber sie kommen bald wieder, und aufgestiegen senken sie sich wieder allmählig. Bei manchen Menschen sind viele solcher Figuren im Sehfelde, obgleich nur diejenigen im mittlern Theile des Sehfeldes deutlicher gesehen werden. Bei mikroskopischen Beobachtungen liegen sie oft vor dem untersuchten Object, und stören einigermassen die Unterscheidung; ich pflege sie dann durch einen Ruck der Augen zur Seite zu schieben. Bei vielen Menschen kommen diese Bilder gar nicht vor, aber vielen andern sind sie quälend. Hier und da sind die Erscheinungen unrichtiger Weise Mouches volantes genannt, und mit gewissen subjectiven Gesichtserscheinungen, welche die Ausbildung des schwarzen Staars begleiten, verwechselt worden. Die vorher beschriebenen Erscheinungen sind ganz unschuldiger Natur, und kommen bei der schärfsten Sehkraft vor. Ich bin seit der Kindheit daran gewöhnt. Ob sie von Theilchen in der wässrigen Feuchtigkeit oder im Glaskörper herrühren, ist noch unbekannt.

II. Abschnitt. Vom Gehörsinn.

I. Capitel. Von den physikalischen Bedingungen des Gehörs.

Ein mechanischer Impuls auf das Gehörorgan bringt in dem Gehörnerven die Empfindung des Schalls hervor. Wird dieser regelmässig schnell wiederholt, so entsteht die Empfindung des Tons, dessen Höhe mit der Zahl der Stösse in bestimmter Zeit zunimmt. Schwingungen elastischer Körper sind am häufigsten die Ursache des Tons. Bei dem Geräusch einer Säge, oder mit-

telst des SAVART'schen Rades, so wie bei der Sirene von CAGNIARD LATOUR (siehe oben p. 134.) summiren sich blosse Stösse, welche für sich höchstens die Empfindung des Geräusches hervorbringen, zum Werth eines bestimmten Tones. Von einem schwingenden elastischen Körper, welcher die Pendelbewegungen nach beiden Seiten gerechnet, 1000 Schwingungen in der Secunde machen würde, erhält das Gehörorgan 500 Stösse in der Secunde, durch Vermittelung der Luft, oder des schallleitenden Mediums. Diese sind im Erfolge ebenso viel, als 500 Stösse eines Körpers, welcher durch blosse Stösse, und nicht durch Pendel-Schwingungen tönt.

Mögen die Töne durch Schwingungen oder Stösse erregt werden, so geschieht die Fortpflanzung der Schwingungen wie der Stösse nach dem Gehörorgan, jedenfalls nach den Gesetzen der Wellenbewegung, und diese gelten auch für die ursprüngliche Entstehung derjenigen Töne, welche aus Schwingungen erzeugt werden. Von der Wellenbewegung wird daher zuerst gehandelt werden müssen.

I. Von der Wellenbewegung im Allgemeinen.

(E. H. WEBER und W. WEBER *Wellenlehre. Leipz.* 1825. EISENLOHR *Lehrbuch der Physik. Mannheim* 1836. 121.)

Wird die Lage des Gleichgewichtes der Theile eines Körpers von aussen gestört, so tritt vor Herstellung des Gleichgewichtes eine Bewegung der Theile des Körpers ein, vermöge welcher sie sich der Lage des Gleichgewichtes abwechselnd nähern und davon entfernen. Wird das Pendel nach einer Seite gestossen, so geht es so lange fort, bis seine Bewegungskraft = 0 wird, nun wird es vermöge der Schwere herabgezogen, mit vermehrter Geschwindigkeit fällt es, und kann deswegen wieder nicht zur Ruhe kommen, es steigt daher auf der entgegengesetzten Seite auf u. s. w., bis das Gleichgewicht hergestellt ist. Bewegungen, durch welche die Theile eines Körpers sich der Lage des Gleichgewichtes abwechselnd nähern und davon entfernen, heissen Schwingungen oder Wellen. Die Wellen sind entweder Beugungswellen oder Verdichtungswellen. Im ersten Fall verändert sich die Oberfläche des Körpers in Wellenberge und Wellenthäler, ohne Aenderung seiner Dichtigkeit; im letzten Fall besteht die Welle in einer Verdichtung ohne Aenderung der Oberfläche. Dem Wellenthal der Beugungswellen entspricht hier eine Verdünnung. Die Schwingung ist entweder eine fortschreitende, wenn die Schwingung successiv über den Körper fortschreitet, oder stehende, wenn die Schwingungen pendelartig ihren Ort nicht verändern.

A. Beugungswellen der Flüssigkeiten.

Die Beugungswellen der Flüssigkeiten sind Veränderungen des Gleichgewichts derselben auf ihrer Oberfläche bis in eine gewisse Tiefe. Die Schwere liegt dieser Wellenbewegung zu

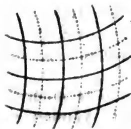
Grunde. Dergleichen Wellen des Wassers sind viel zu langsam, als dass sie die Ursache von Tönen werden könnten. Gleichwohl ist es wichtig die Gesetze zu kennen, da sich die Gesetze der Wellenbewegung an ihnen am leichtesten beobachten lassen.

a. Fortschreitende Schwingungen oder Wellen.

Wird das Gleichgewicht einer Flüssigkeit an einer Stelle gestört, so bilden sich kreisförmige Wellen mit kreisförmigem Wellenberg und Wellenthal um diesen Punct, welche nach aussen fortschreiten, und denen neue Wellen folgen. Je stärker der Stoss war, um so höher sind die Wellen, und um so grösser ist ihre Geschwindigkeit, aber diese ist auch von der Tiefe der Flüssigkeit abhängig. Werden Wellen in einer tiefen Rinne (Wellenrinne) mit parallelen Wänden durch einen Stoss, welcher die ganze Breite der Rinne einnimmt, erregt, so schreiten die Wellen geradlinig und nicht kreisförmig fort. Die Wellenbewegung ist übrigens keine progressive Bewegung der Wassertheilchen, vielmehr bleiben die Wassertheilchen an ihrem Orte, während die Wellen über das Wasser hingehen. Die Wassertheilchen an dem Orte einer vorübergehenden Welle erleiden nur eine Rotation indem sie, wenn die Welle ankommt, noch niedrig liegen, bei ihrem Weitergehen successiv in den Gipfel der Welle kommen; die Welle geht unterdess weiter fort, und sie kommen in den hintern abhängigen Theil der Welle, so fort, wenn sie vom Wellenthal erreicht sind, ins Wellenthal, von wo sie durch die Ankunft der nächsten Welle wieder steigen.

Begegnen sich zwei an entgegengesetzten Orten erregte Wellen von gleicher Höhe, so durchkreuzen sie sich ohne sich zu hindern. Der Wellenberg der einen und der andern fallen zusammen, und bilden einen doppelt so hohen Wellenberg, ebenso fällt das Wellenthal der einen mit dem Wellenthal der andern zusammen. Die Theilchen der Flüssigkeit werden hier durch zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte zu Rotationen entgegengesetzter Richtung bestimmt. Diese Bestimmungen heben sich auf, und die Theilchen bewegen sich bloss vertical. Nach der Durchkreuzung schreiten die Wellen wieder fort, jede in ihrer Richtung.

Fällt von Wellen die sich begegnen, ein Wellenberg der einen mit einem Wellenthal der andern zusammen, so gleichen sich beide aus und die Stelle bleibt eben. Nach der Kreuzung gehen die Wellen wieder in ihrer Richtung fort. Bei der Durchkreuzung paralleler Wellen mit anderen parallelen Wellen von anderer, aber nicht entgegengesetzter Direction, treten die vorhergenannten verschiedenen Fälle zugleich an verschiedenen Stellen ein. Denn wenn in der beistehenden Figur die ganzen Striche die Wellenberge, die punctirten Striche die Wellenthäler bezeichnen, so entstehen, wo sich die ganzen Striche untereinander kreuzen, Wellenberge von doppelter Höhe, wo sich die punctirten Stri-



che kreuzen, Wellenthäler von doppelter Tiefe, und wo sich die ganzen Striche mit den punctirten kreuzen, heben sich der Wellenberg der einen und das Wellenthal der andern Welle gegenseitig auf, und diese Stellen bleiben eben. Diess ist die Interferenz der Wellen.

Die Wellen werden von den Wänden fester Körper reflectirt. Die Reflexion einer Welle geschieht unter demselben Winkel, unter welchem sie auffällt, wie bei dem Lichte. Denkt man sich eine Welle in eine Reihe Kräfte zerlegt, welche nebeneinander fortgehen, so wird jeder Theil der Welle unter demselben Winkel von der festen Wand reflectirt werden, unter welchem er gegen dieselbe stösst, daraus entsteht ein System von reflectirten Wellentheilen, die zusammen eine reflectirte Welle bilden, welche entweder mit den ursprünglichen Wellen dieselbe, oder eine verschiedene Direction haben. Die reflectirten und ursprünglichen Wellen haben eine gleiche Direction, wenn geradlinige Wellen in einer Wellenrinne erregt werden, und wenn ihre Direction senkrecht auf die reflectirende Wand geht, oder auch, wenn kreisförmige Wellen von einem Punct ausgehen, und gegen eine Wand anstossen, die selbst ein Kreis um jenen Punct ist; im letztern Falle gehen die reflectirten Wellen wieder gegen den Mittelpunct des Kreises zurück.

Eine kreisförmige Welle wird von einer geraden Wand so zurückgeworfen, als käme sie von einem Puncte hinter der Wand, der ebenso weit hinter der Wand liegt, als der Mittelpunct der ursprünglichen Welle von der Wand entfernt ist.

Wellen, welche vom Brennpuncte einer Ellipse ausgehen, und auf eine in der Peripherie der Ellipse befindliche Wand stossen, werden so reflectirt, dass der Mittelpunct der reflectirten Wellen der andere Brennpunct der Ellipse ist. Denn jedes Theilchen einer vom Brennpunct der Ellipse ausgehenden Welle wird, bei Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels, von der Wand der Ellipse nach dem andern Brennpunct der Ellipse reflectirt.

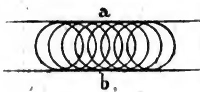
Wellen, welche vom Brennpunct einer Parabel kreisförmig ausgehen, und gegen eine in der Peripherie der Parabel liegende Wand anstossen, gehen vermöge der Eigenschaften der Parabel nach der Reflexion geradlinig fort, und zwar in mit der Achse der Parabel gleicher Richtung. Denn ein Theilchen einer vom Brennpunct der Parabel ausgehenden Welle wird, bei Gleichheit des Reflexions- und Einfallswinkels, an der Peripherie der Parabel angelangt, in einer mit der Achse der Parabel parallelen Linie reflectirt.

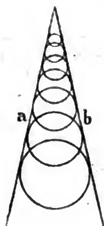
Umgekehrt müssen geradlinige Wellen, welche in, mit der Achse einer Parabel gleicher Direction fortgehen, von den Wänden der Parabel so zurückgeworfen werden, dass die reflectirten Wellen einen gemeinschaftlichen Mittelpunct in dem Brennpuncte der Parabel haben, also kreisförmig und concentrisch in dem Brennpunct der Parabel zusammenkommen.

Gehen daher kreisförmige Wellen vom Brennpuncte einer Parabel aus, (querlinig durch die Reflexion von den Wänden der Parabel ab, in mit der Achse der Parabel gleicher Richtung fort,

so werden sie von einem ihnen entgegenstehenden zweiten Parabelstück abermals so reflectirt werden, dass sie in dem Brennpuncte der zweiten Parabel zusammenkommen.

Werden Wellen im Wasser durch einen Stoss bewirkt, der in der ganzen Länge einer Linie stattfindet, so kann man sich jeden Punct der Linie als Mittelpunct von kreisförmigen Wellen vorstellen, die gleichzeitig abgehen, und daher bei ihrer weitern Ausdehnung immer gleich gross sind. Durch die Deckung der Kreise entsteht parallel mit der Linie, von welcher der Stoss ausging, eine grössere vordere und hintere gerade Welle *a*, *b*. Schreitet ein Körper im Wasser fort, so erregt er fortdauernd kreisförmige Wellen. Die jüngsten sind noch klein, während die älteren hinter dem Körper sich schon um so mehr ausgedehnt haben, je früher sie entstanden sind.



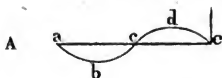


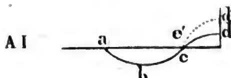
Diese Wellen bringen an den Seiten, wo sie sich decken, grössere Wellen *a*, *b* hervor, die von dem stossenden Körper aus divergiren.

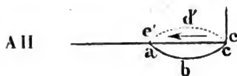
Gehen Wellen durch eine Oeffnung durch, so behalten sie nicht die Form, die sie in der Oeffnung hatten, sondern ihre an den Rändern der Oeffnung vorbeigegangenen Enden erhalten eine kreisförmige Umbeugung um die Ränder, so dass sich die Wellen nach dem Durchgang nicht bloss vorwärts, sondern auch nach den Seiten verbreiten. Diess ist die Beugung der Wellen.

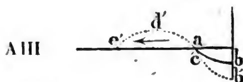
b. Stehende Schwingungen.

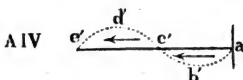
Ist *A abcde* eine auf einer Flüssigkeit erregte Welle, *cde* der Wellenberg, *abc* das Wellenthal, *e* eine feste Wand, gegen welche die Welle anprallt, so giebt es einen Zeitpunct, 1. wo die Welle um die Hälfte ihres Berges, oder um ¼ ihrer Länge sich der Wand *e* genähert hat und die Lage *AI abcd* hat. Die erste Hälfte ihres Wellenberges ist dann schon reflectirt, daher der halbe Berg an der Wand aus einer halben fortschreitenden Welle *cd*, und einer halben reflectirten Welle *d'e'* besteht, und darum höher ist. Nach einem Verlaufe von zwei Zeittheilchen ist die Welle bis zu ihrem Thal gegen







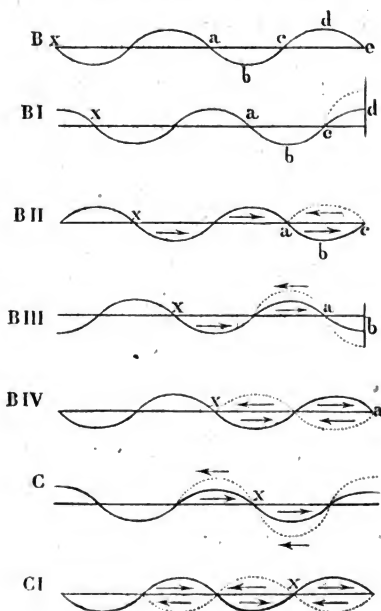






die Wand fortgeschritten, und der ganze Wellenberg ist reflectirt. II. *abc* das Wellenthal, *c'd'e'* der reflectirte Wellenberg, beide gleichen sich aus, die Stelle ist daher im Zeitmoment 2 eben. Nach Verlauf des dritten Zeittheilchens ist auch das Wellenthal um seine Hälfte fortgeschritten, und nur die Hälfte des Thals *ab* noch übrig. III. die erste Hälfte des Thales ist schon reflectirt *b'c'*, der früher reflectirte Wellenberg aber ist um die Hälfte seiner Länge rückwärts geschritten *c'd'e'*. Nach Verlauf des vierten Zeittheilchens ist auch die zweite Hälfte des Thals der ursprünglichen Welle abgelaufen, und reflectirt *a'b'c'*, der früher reflectirte Wellenberg aber ist wieder um die Hälfte seiner Länge rückwärts vorgerückt. Die Stellung der reflectirten Welle IV. *a'b'c'd'e'* ist daher nach Verlauf der vier Zeittheile dieselbe, wie die ursprüngliche Welle vor dem ersten Zeittheil, aber umgekehrt, wo der Berg der ersten war, ist nun das Thal, wo das Thal der ersten war, nun der Berg.

Befand sich nun hinter der ersten ursprünglichen Welle *B abcde* eine zweite *xa*, so wird die Stellung nach dem ersten Zeittheil wie in *B*I seyn, nach dem zweiten Zeittheil wie in *B*II seyn,



nach dem dritten Zeittheil *B*III. Nun decken sich der Wellenberg der zweiten ursprünglichen, und der Wellenberg der reflectirten ersten Welle. Hier ist ein grösserer Wellenberg. Nach dem vierten Zeittheil deckt der Wellenberg der zweiten ursprünglichen Welle das Wellenthal der reflectirten ersten Welle, und umgekehrt. In diesem Moment wird die Fläche eben seyn *B*IV. Im nächstfolgenden Moment sind beiderlei Wellen wieder um $\frac{1}{4}$ einer ganzen Welle in entgegengesetzter Richtung fortgeschritten, oder die vorher sich deckenden Theile haben sich um eine halbe Wellenlänge von einander entfernt, die Stellung wird also wie in *C* seyn, wo sich die Wellenthäler und wieder die Wellenberge decken, und daher ein tieferes Wellenthal und einen höhern Wellenberg hervorbringen. Im nächsten Moment *C*I decken wieder die Wellenberge die Wellenthäler. Diese regelmässig sich wiederholenden Wellen heissen stehende Wellen oder stehende Schwingungen. Hierbei schreiten die Berge und Thäler der Wellen nicht fort auf andere Theile der Flüssigkeit, sondern es bleiben die bloss verticalen Veränderungen an ihrem Orte. Es sind abwechselnde verticale Erhebungen und Senkungen, welche die Folge von zwei sich kreuzenden Wellenbewegungen sind.

Stehende Schwingungen werden in der geraden Wellenrinne durch tactmässige Erregung von hintereinander folgenden Wellen bewirkt, die dann reflectirt werden, oder in einem kreisförmigen Gefässe durch tactmässige Erregung von Wellen in der Mitte. Auch in mit Flüssigkeit gefüllten Gefässen, die auf einer Trommel oder Pauke oder auf einem Rohrstuhl stehen, beobachteten die Gebrüder Weber die stehende Schwingung, wenn die elastische Unterlage tactmässig angestossen wurde.

B. Beugungswellen fester Körper.

Die Ursache der Beugungswellen der Flüssigkeiten ist die Schwere; die Ursache der Beugungswellen fester Körper ist die Störung und Herstellung der Cohaesion und Elasticität. Sie sind viel schneller, als die Beugungswellen des Wassers und werden in elastischen Körpern Ursache von Tönen.

Wird ein gespanntes Seil oder eine gespannte Saite nicht in der Mitte, sondern näher dem einen Ende angestossen, so entsteht eine Ausdehnung des Körpers an dieser Stelle, welche als eine Welle oder Schwingung sich dem ganzen Seile mittheilt, und von dem einen zum andern Ende fortschreitet, am Ende angelangt wieder zurückgeht u. s. w., wie bei der Wellenbewegung der Flüssigkeiten.

Wird das Anstossen des Seils oder der Saite mehrmals hintereinander wiederholt, so folgen sich regelmässige Wellen, wie auf dem Wasser, und indem diese am andern Ende des Seils reflectirt werden, entstehen auch stehende Wellen, wie im vorher erläuterten Fall, durch die Kreuzung entgegengesetzter Wellen. So entstehen aus fortschreitenden Schwingungen stehende. Die ruhenden Puncte zwischen den Wellen heissen Schwingungsknoten.

Die einfachste stehende Schwingung eines Seils oder einer

Saite ist indess diejenige, welche nicht aus der fortschreitenden hervorgeht, sondern wobei die Saite zwischen ihren Befestigungen hin und her schwingt, transversale Schwingung. Die Befestigungsenden sind hier die Schwingungsknoten. Diese Art der Schwingung erfolgt am leichtesten, wenn man eine Saite zerrt oder streicht. Eine stehende Schwingung ist auch die transversale Schwingung ungespannter fester Körper, z. B. der Metallstäbe, die an einem Ende angehalten werden.

C. Verdichtungswellen der Flüssigkeiten, Gase und festen Körper.

Bei den Beugungswellen des Wassers findet keine Verdichtung und Verdünnung statt, und auch bei den Beugungswellen eines Seils ist die Verdichtung und Verdünnung nicht nothwendig mit den Beugungswellen verbunden. Ist das Seil nicht ausdehnbar oder nicht elastisch, so können die Beugungswellen durch blosse Verschiebung und das Bestreben der Theile wieder in gerade Richtung zu gelangen hervorgebracht werden. Meist sind freilich die Beugungswellen der Saiten auch mit Verdichtung und Verdünnung verbunden. Das Eigenthümliche der Beugungswellen besteht darin, dass vielen Theilchen eines Körpers zugleich eine so starke Bewegung in einer auf die Oberfläche des Körpers senkrechten Richtung ertheilt wird, dass die Oberfläche sichtbar verändert wird. Verdichtungswellen hingegen entstehen in allen Körpern, wenn der Stoss bloss die kleinsten Theilchen des Körpers successive und eines durch das andere bewegt. Daher nennt man diese Wellen auch Wellen des fortschreitenden Stosses. Durch den Stoss der bewegten Theilchen auf die nächsten findet nothwendig Verdichtung statt, und diese bedingt wieder hinter sich Verdünnung. Die sich fortpflanzende Bewegung der Theilchen ist hierbei so klein, dass eine Veränderung der Oberfläche der Körper nicht sichtbar wird. So schreitet der Stoss auch durch eine Reihe von Kugeln fort, während sie ihren Ort behalten.

Die Richtung der Bewegung der Theilchen, welche der verdichtende Stoss hervorbringt, kann bei einem Stab oder einer Saite von der Richtung, in welcher die Verdichtungswelle fortschreitet, verschieden seyn. Wird z. B. der Stab oder die Saite a ——————————— b in der Nähe von *a* senkrecht auf seine Länge gestossen, so reissen die bewegten Theilchen die nächsten in derselben Richtung, d. h. senkrecht auf *ab* fort, diese wieder die nächsten, bis zuletzt *b* bewegt wird; es werden also successiv alle zwischen *a* und *b* liegenden Theilchen in einer auf *ab* senkrechten Richtung bewegt oder in Verdichtung gesetzt, d. h. von *a* bis *b* läuft eine Welle, während die Bewegung der Theilchen durch den Stoss eine ganz andere, nämlich senkrecht auf *ab* ist. Wird der Stoss der Mitte des Stabs ertheilt, so läuft die Welle in zwei Richtungen nach *a* und nach *b*. Auch in einer Platte entstehen solche Wellen, wie Savart gezeigt hat. Vergl. Weber a. a. O. p. 440.

Die Fortpflanzung des Stosses in Körpern, die einen cubischen Raum ausfüllen, z. B. in Felsen, Wasser und Luftmassen, geschieht nach allen Seiten. Die Fortpflanzung des Schalls in allen Körpern geschieht durch Fortpflanzung des Stosses oder der Verdichtungswellen.

Wellen, welche in der Luft erregt werden, bestehen in fortlaufenden Verdichtungen und Verdünnungen. Die verdichtete Stelle ist der Wellenberg, die verdünnte das Wellenthal. Eine in einer Röhre fortschreitende Luftwelle prallt, wenn jene am Ende geschlossen ist, zurück, und behält zurücklaufend ihre Eigenschaften; auch an einem offenen Ende prallt die Welle unvollkommen zurück, nimmt aber dabei, wie die Erfahrung lehrt, entgegengesetzte Eigenschaften an, indem sie verdünnend wird, wenn sie verdichtend war und umgekehrt. Die Wellen in der freien Luft sind kugelförmig. Weber a. a. O. §. 276.

II. Von den stehenden und fortschreitenden Wellen tönender Körper.

Tönende Körper schwingen entweder mit Beugungswellen oder Verdichtungswellen, an tönenden Saiten und festen Körpern kommen entweder die einen oder die anderen oder beide zugleich vor. Tönende Luftmassen schwingen nur mit Verdichtungswellen. Die Wellen tönender Körper sind theils stehende, theils fortschreitende.

Wird eine Saite in der Mitte aus ihrer Lage gezogen und dann sich selbst überlassen, so bemerkt man keine fortlaufenden Wellen, oder sie sind nicht deutlich. Dagegen schwingt die Saite in der ganzen Breite der Ausbeugung, oder mit ihrer ganzen Länge hin und her in transversaler Richtung, wie ein Pendel. Sie sucht nach der Beugung eine gerade Lage vermöge ihrer Elasticität einzunehmen, aber der Zug, dem sie folgt, wirft sie auch über die gerade Linie hinaus auf die entgegengesetzte Seite und so fort bis zu ihrer Ruhe. Diess ist eine stehende Schwingung.

Die Schnelligkeit ihrer Schwingungen oder die Zahl der Stösse, welche sie der Luft ertheilt, nimmt in umgekehrtem Verhältniss mit der Länge der Saite, und im geraden Verhältniss der Quadrate der spannenden Kräfte zu, d. h. eine Saite, welche 100 Schwingungen in der Secunde macht. schwingt mit der Hälfte ihrer Länge bei gleicher Spannung 200 Mal. Bleibt ihre Länge gleich, und macht sie bei 1 Loth Spannung 100 Schwingungen in der Secunde, so schwingt sie 200 Mal bei 4 Loth, 400 Mal bei 16 Loth Spannung.

Zu transversalen stehenden Schwingungen sind auch Stäbe fähig. Die Zahl der Schwingungen steht hier in geradem Verhältniss mit der Dicke der Stäbe und in umgekehrtem Verhältniss mit den Quadraten der Länge der Stäbe.

Unter gewissen Umständen ist ein longitudinales Fortlaufen des Gipfels der Welle mit einer stehenden transversalen Schwingung

der Saite verbunden, ohne dass dadurch die Zahl der Schwingungen eine andere wird, als bei blosser transversaler Schwingung. Wird z. B. die Saite in der Nähe ihres Befestigungspunctes angezogen, so macht sie nicht bloss transversale Schwingungen, so wie wenn sie in der Mitte ihrer Länge angezogen wird, d. h. transversale Schwingungen mit einer Länge der Welle, welche der Länge der Saite gleich ist, sondern der Gipfel der Welle läuft abwechselnd von einem zum andern Ende und zurück, indem er sich beim Anstossen an den Befestigungspuncten jedesmal nach der entgegengesetzten Seite der Saite umkehrt. Die Zahl der Schwingungen einer so schwingenden Saite ist ganz dieselbe, wie wenn sie, bei gleicher Lage des Gipfels der Welle in der Mitte der Saite, schwingt, und da die Höhe des Tons von der Zahl der Schwingungen in bestimmter Zeit abhängt, so ist die Höhe des Tons in beiden Fällen gleich; aber der Klang ist etwas verschieden. Dieser Umstand ist für die Theorie des Klanges von Wichtigkeit.

Stehende Wellen entstehen auch, wenn man durch leichte Unterstützung oder schwache Berührung einer Saite einen Schwingungsknoten bildet, und den isolirten Theil der Saite streicht. Wird z. B. die Saite in der Mitte berührt, dann aber die eine Hälfte der Saite mit dem Violinbogen gestrichen, so schwingt nicht bloss die gestrichene Hälfte der Saite transversal, sondern auch die andere Hälfte in entgegengesetzter Richtung. Nun ist die Zahl der Schwingungen das Doppelte der Schwingungen der ganzen Saite, und der erregte Ton die Octave des Grundtons. Geschieht die Unterstützung oder Berührung an der Grenze zwischen dem ersten und dem zweiten Drittheil, so entsteht von selbst ein Schwingungsknoten auch zwischen dem zweiten und dritten Drittheil, und die Zahl der Schwingungen ist 3 Mal so gross, als die der ganzen Saite. So lässt sich durch Isolirung eines Viertels, Fünftels u. s. w. eine regelmässige Theilung der ganzen Saite in lauter Viertel, Fünftel, durch von selbst entstehende Schwingungsknoten bewirken. Papierschnitzel auf den Stellen der Schwingungsknoten angebracht, werden während des Schwingens nicht abgeworfen. Die auf diese Weise erzeugten Töne heissen Flageolettöne.

Scheiben, welche durch den Fidelbogen in Schwingung versetzt werden, theilen sich regelmässig in aliquote, in entgegengesetzten Richtungen schwingende 4. 6. 8 Abtheilungen, zwischen welchen die ruhenden Knotenlinien liegen, welche aufgestreuten Sand nicht abwerfen. Die Berührung des Randes der Scheibe an einer Stelle erzeugt eine Knotenlinie, welche bestimmend wird für die Vertheilung der übrigen Knotenlinien. Die zweite Bestimmung geht von der Stelle aus, welche mit dem Fidelbogen gestrichen wird. Diese gehört zu den bewegten Theilen, und wirkt bestimmend auf die Entstehung der bewegten Abtheilungen. Hierauf beruhen die Chladni'schen Klangfiguren.

Sowohl die stehenden als die fortschreitenden Schwingungen der elastischen Körper können Töne in unserm Gehörorgan hervorbringen, wenn sie sich regelmässig wiederholen. Denn auch

die stehenden Schwingungen werden, den schallleitenden Körpern mitgetheilt, zu fortschreitenden Wellen, indem jede Schwingung eine in der Luft, im Wasser oder in festen schallleitenden Körpern fortschreitende Welle erregt.

Durch fortschreitende Verdichtungswellen können sowohl feste Körper, als die Luft in Röhren tönen. Stäbe werden durch Reiben der Länge nach in longitudinale Verdichtungswellen versetzt. Eine Saite kann auch ohne alle transversale Schwingung durch bloss fortschreitende verdichtende Wellen, Töne hervorbringen. Die Zeit zum Hin- und Herlaufen der Verdichtungen und Verdünnungen, welche die Zahl der in der Luft erregten Wellen bedingt, hängt natürlich von der Länge und Spannung der Saiten ab. Ohne beständig wiederholte Stösse behalten diese Wellen aber nicht die erforderliche Stärke und Dauer, während die transversalen Schwingungen der Saiten längere Zeit dauern. Das Reiben bewirkt diese fortdauernd wiederholten Stösse. Durch eine Modification dieser Stösse hat man indess auch auf die Schnelligkeit der Folge der longitudinalen Wellen Einfluss. Dahin gehören die longitudinalen Schwingungen der Saiten, welche Chladni durch Streichen der Länge nach erregte. Auch die Aeolsharfentöne der Saiten scheinen hieher zu gehören. Nach Pellisov (Poggend. *Ann. XIX.* 237.) findet keine messbare Transversalschwingung der Saiten bei den durch die Luft hervorgebrachten Aeolsharfentönen statt. Je nach der Stärke des Windes entstehen verschiedene harmonische Töne, ohne dass Schwingungsknoten bemerkbar werden. Pellisov hat ferner ein Verfahren angegeben, wie man auf einer Violinseite von gleichbleibender Spannung durch Modification des Streichens sehr verschiedene Töne hervorbringen kann. Diess geschieht, indem man den Bogen dicht am Stege einer zwei Schuhe langen $\frac{1}{3}$ Linie dicken ins g gestimmten Violinsaite aufsetzt, und so leicht als möglich und in einem immer gleichen Zuge zu streichen anfängt. Der Ton richtet sich dann ganz nach der Stärke und Schnelligkeit des Streichens und man kann alle Töne, welche die Seite sonst mittelst des Windes giebt, oder alle Aeolsharfentöne g $\bar{d}$ $\bar{g}$ $\bar{h}$ $\bar{\bar{d}}$ $\bar{\bar{f}}$ $\bar{\bar{g}}$ $\bar{\bar{a}}$ und noch die meisten dazwischen und höher liegenden Töne leicht hervorbringen. Hierbei laufen nach Pellisov die Schwingungen jener Molecule, welche der Bogen unmittelbar berührt, ans entgegengesetzte Ende und werden reflectirt. Durch eine besondere Handhabung des Bogens brachte er Töne an Saiten hervor, welche tiefer sind als ihre Grundtöne und welche also jedenfalls nicht durch Transversalschwingungen hervorgebracht werden.

Pellisov geht noch weiter, er behauptet, dass auch bei den Tranversalschwingungen der Saite der Ton nicht durch diese, sondern durch die hin- und herlaufenden, verdichtenden und verdünnenden Wellen, die man auch Molecularschwingungen nennt, entstehe. Nach der gewöhnlichen Ansicht kommen diese kleinen Wellen eines elastischen Körpers, welche von der Stelle des Anstosses ausgehen, und sich zufolge der Elasticität dem ganzen Körper mittheilen, nur in sofern in Betracht, als sie zur Resul-

tante die Schwingung des ganzen Körpers zwischen seinen Enden oder zwischen seinen Schwingungsknoten hervorbringen. Pellisov behauptet das Gegentheil, dass der Ton von der Schnelligkeit, mit der die kleinsten Theile der Saite, Luftsäule, Stäbe, Scheiben u. s. w. schwingen, abhänge. Die Schwingungen der ganzen Saite, Luftsäule, Scheibe oder ihre grossen Abtheilungen kommen hierbei bloss in sofern in Betracht, als sie bestimmend für die Schnelligkeit der Molecularschwingung wirken. Daher würde kein Ton entstehen, wenn eine Saite transversal schwänge, ohne dass die einzelnen Molecule Schwingungen machen, (d. h. ohne die fortschreitenden und zwischen den Knoten sich hin- und herbewegenden verdichtenden Wellen.) Pellisov a. a. O. Fechner *Repertorium der Experimentalphysik. I. B.* 256.

Wenn man auch die Annahme von dem Unvermögen der Transversalschwingungen der Saiten Töne zu erregen nicht für erwiesen halten kann, so lässt sich doch aus der Gleichzeitigkeit der Transversalschwingungen und der hin und her fortschreitenden verdichtenden Wellen in einem tönenden Körper die gleichzeitige Entstehung mehrerer Töne sehr gut begreifen. Eine Saite giebt ausser ihrem Grundton leicht noch einen andern leisen, damit harmonischen Ton, die Quinte oder Terze der höhern Octave. Bekannt sind auch die mitklingenden Töne einer Glocke.

In der Luft der Pfeifen hat man es gar nicht mit Transversalschwingungen, sondern bloss mit fortlaufenden und zurücklaufenden verdichtenden Wellen zu thun. Das fortdauernde Blasen hat einen intermittirenden Erfolg. Die Zahl der Wellen in gewisser Zeit, oder was dasselbe ist, die Dicke der Wellen hängt ab von der Länge der Luftsäule der Röhre.

Beim ruhigen Anblasen der gedeckten Pfeifen entsteht der Grundton derselben, bei welchem der Schwingungsknoten am Ende der Luftsäule liegt. In der offenen Pfeife liegt der Schwingungsknoten in der Mitte, und der Ton ist um eine Octave höher. Durch stärkeres Blasen erzeugt man noch andere Abtheilungen und daher höhere Töne. Siehe oben p. 138.

In Hinsicht der für die musikalischen Instrumente geltenden Gesetze muss ich übrigens auf die Lehre von der Stimme verweisen, in welcher die Theorie der musikalischen Instrumente gegeben ist.

Zuletzt ist noch der Unterschied von Schall, Knall, Geräusch, Ton und Klang auseinanderzusetzen. Jede Impression auf das Gehörorgan von einer ihm mitgetheilten Welle, oder mehreren Wellen ist ein Schall. Ein einmaliger Stoss bringt einen e i n f a c h e n S c h a l l hervor, der, wenn er stark ist, Knall genannt wird. Die Stärke des Schalles hängt ab von der Grösse der Schwingung der Theilchen. Die Qualität des Schalles kann sehr verschieden seyn. Holz, Pappe, Metall haben eine andere Qualität des Schalles. Die Qualität des Schalles scheint theils von der Form der Welle, theils von der Gleichzeitigkeit verschieden schneller Wellen abzuhängen. Ein und derselbe Körper kann, wenn er ungleiche Elasticität in verschiedenen Richtungen besitzt, auch an verschiedenen Orten verschieden schnelle Wellen beim Anstoss hervorbringen, welche

mehr oder weniger nach einander von dem schallenden Körper in den schallleitenden Körper abgehen, und diesem eine zusammengesetzte Welle von eigenthümlicher Form mittheilen. Diese zusammengesetzte Welle, oder diese Summe von Wellen kömmt in derselben Ordnung und Form am Gehörorgan an, als sie in das schallleitende Medium überging, da alle Schwingungen mit gleicher Geschwindigkeit von einem schallleitenden Körper fortgepflanzt werden. Eisenlohr *Lehrbuch d. Physik.* 151. Zur Qualität des Schalles trägt auch bei, dass ein Körper eine transversale und longitudinale Schwingung zugleich machen kann. Die Seite wird, nahe ihrem Ende abgezogen, und sich selbst überlassen, transversale Schwingungen mit ihrer ganzen Länge machen, während zugleich der Gipfel des Wellenbergs abwechselnd von einem zum andern Ende läuft, jedesmal bei dem Wechsel zur andern Seite der Saite umkehrend. Daher ist die Qualität des Schalles einer und derselben Saite bei gleicher Länge und Spannung etwas verschieden, je nach der Stelle, wo sie angezogen wird. Die Form der Welle wird endlich nach Pellisov und Eisenlohr durch die Dichtigkeit des schallenden Körpers modificirt. Bei einem dichten Körper ist die Ausweichung der Schwingung geringer, als bei einem weniger dichten Körper. Die Lufttheilchen, welche ihn berühren, werden gleichzeitiger von ihm abgestossen, und der verdünnte Luftraum, den er bei seiner Zusammenziehung zurücklässt, ist schmaler. Bei ungleicher Dichtigkeit des schallenden Körpers muss endlich auch die der Luft mitgetheilte Verdichtung, und die folgende Verdünnung ungleich seyn.

Folgen sich mehrere Wellen aufeinander, so entsteht ein mehr oder weniger anhaltender Schall, der bald ein Rauschen, bald ein Ton ist. Eine Folge von gleichen oder ungleichen Schallen in ungleichen Zeiten bedingt das Geräusch. (Rasseln, Scharren, Brausen etc.) Eine Folge von einfachen Schallen oder Geräuschen in gleichen Zeiten wird, so lange die einzelnen Acte noch unterschieden werden, noch nicht als Ton, sondern als schwirrendes Gesumme vernommen. Werden die einzelnen Acte nicht mehr unterschieden, so entsteht der Ton, dessen Höhe verschieden ist nach der Schnelligkeit, womit die einzelnen Stösse auf einander folgen. Diess hört man an dem Savart'schen Rad, dessen Zähne Geräusche hervorbringen, so lange die Stösse unterschieden werden. Bei schnellerer Folge summiren sich die Geräusche zum Ton, obgleich das Geräuch noch durchgehört werden kann. Daher wird nicht bloss eine regelmässige Folge von einfachen Wellen, sondern auch eine regelmassige Folge von sehr zusammengesetzten oder Geräuschwellen zum Ton. Ein klangvoller Ton ist derjenige, der durch einfache, hinlänglich starke Wellen, ohne unregelmässige Zwischenwellen oder Geräusche hervorgebracht wird. Die Qualität des Klanges oder das Timbre eines Tons wird durch dieselben Ursachen bedingt, wie die Qualität des einfachen Schalles, beim Ton kommt nur die regelmässige Succession der Wellen hinzu.

III. Von der Wellenbewegung bei der Schallleitung.

1. Fortschreitende Wellen bei der Schallleitung.

Weber *a. a. O. p.* 501.

Die Fortleitung der Schwingungen tönender Körper geschieht in der Regel durch Verdichtungs- und Verdünnungswellen, nicht durch Beugungswellen. Auch das Wasser leitet die Schallwellen auf diese Art. Diese Art der Bewegung ist also von den Beugungswellen des Wassers ganz verschieden.

Ein der Luft, von einem Punct aus nach allen Richtungen, mitgetheilter Stoss erregt eine sphärische Welle verdichteter Luft, von der Form einer hohlen Kugel, welche nach allen Richtungen gleichmässig sich ausdehnt und also ihre Kugelgestalt behält. Eine sich in der Luft plötzlich ausdehnende Kugel würde eine solche Welle erregen. Die von einer sich ausdehnenden Kugel gestossenen Lufttheilchen erhalten eine dieser Ausdehnung entsprechende Bewegung in der Richtung des Radius und im nächsten Augenblick, wenn die sich ausdehnende Kugel sich wieder zusammenzieht, und in ihrer Umgebung eine Verdünnung bewirkt, eine entgegengesetzte Bewegung. Diese Bewegung erfahren sofort alle Theilchen der Luft, durch welche die sphärische Welle durchgeht. Aber die Grösse der Bahn, welche die Lufttheilchen vorwärts und rückwärts durchlaufen, was mit den Wellen des Wassers verglichen, die Höhe des Wellenberges ist, nimmt mit dem Fortschreiten der Welle ab, während die Dicke der Welle bei ihrer Ausdehnung gleich bleibt; gerade so, wie wenn eine auf dem Wasser erregte sphärische Welle bei gleichbleibender Breite mit dem Grad ihrer Ausdehnung niedriger wird. Die hohle Kugel der fortschreitenden Welle nimmt gleichmässig an Durchmesser zu, ihr Umfang nimmt daher wie die Quadrate ihrer Durchmesser zu. In eben demselben Verhältniss nimmt der Wellenberg der Welle ab. Diess ist die Ursache, dass die Intensität des Schalls in freier Luft abnimmt, wie die Quadrate der Entfernungen der Schallwelle vom Orte ihrer Entstehung zu nehmen. Bei der Wellenbewegung der Luft in einer Röhre ist kein Grund zu dieser Abnahme.

Bewirkt der stossende oder schwingende Körper in freier Luft keinen Stoss nach allen Richtungen, wie eine sich ausdehnende Kugel, sondern in einer Richtung, so ist die dadurch erregte Welle auch sphärisch, gerade so, wie eine auf dem Wasser durch Stoss in einer Richtung erregte Welle, doch nach allen Richtungen fortschreitet, also kreisförmig ist. Doch die Grösse des Wellenberges oder die Grösse der Bahn, welche die Theilchen der Luft durchlaufen, durch welche die Welle durchgeht, ist in der Richtung des Stosses stärker, weil sie von der Richtung des Stosses selbst zum Theil abhängt. Finden daher die Schallwellen in dem tönenden Körper in einer Richtung statt, wie bei einer schwingenden Saite, und einer schwingenden Luftsäule, so wird auch der Schall in

dieser Richtung deutlicher und stärker gehört. Hierzu scheint mir auch folgender Umstand für gewisse Fälle beizutragen. Die Welle eines der Wellenbewegung fähigen Mediums, kann, wenn der Anstoss in einer gewissen Breite auf dasselbe geschieht, zusammengesetzt gedacht werden aus lauter nebeneinander liegenden cirkelförmigen Wellen von gleichem Durchmesser. Diese Wellen decken sich in einer mit der Breite des Anstosses parallelen Richtung, decken sich aber nicht an den freien Enden der Wellen. Die Welle wird also in einer auf die Breite des Anstosses senkrechten Richtung stärker seyn.

Die Stärke der Schallleitung hängt ceteris paribus vom Verhältniss des tönenden Körpers zum schallleitenden ab. Je gleichartiger der schallleitende Körper dem tönenden ist, um so vollkommener ist die Mittheilung, umgekehrt um so unvollkommener. Die tönende Luft, z. B. eines Blaseinstrumentes theilt der Luft ihre Schwingungen so vollkommen mit, dass eine Verstärkung durch andere Medien nicht stattfindet, theilt hingegen ihre Schwingungen festen Körpern schwer mit, Feste Körper hingegen theilen ihre Schwingungen unvollkommen der Luft, und vollkommen andern festen Körpern mit. Die Schwingungen werden ferner beim Uebergang aus einem Medium in ein ungleichartiges anderes, wie beim Licht, theils fortgeleitet, theils zurückgeworfen. Hieraus erklärt sich, warum Felsenmassen dem in der Luft erregten Ton ein Hinderniss sind, während hingegen der Ton eines festen Körpers, z. B. eines Stabes, stärker dem Ohr durch eine Schnur, als durch die Luft mitgetheilt wird. Nach Wheatstone kann man die Töne eines Saiteninstrumentes durch einen Drath auf einen fernen Resonanzboden leiten.

Abgesehen von der eben bezeichneten verschiedenen Stärke der Mittheilung kann ein Ton durch Resonanz selbst stärker werden, als er im tönenden Körper selbst war. Die Resonanz entsteht durch die Vergrösserung der Oberfläche der gleichartigen schwingenden Theile. Daher tönt eine Stimmgabel stärker, wenn sie auf einen festen Körper aufgesetzt wird. Hierauf beruht auch die Wirkung des Steges und des Resonanzbodens bei den Saiteninstrumenten.

Die Resonanz ist ferner stärker bei einem begrenzten, als bei einem unbegrenzten Körper. Ein begrenzter Körper wirft nämlich die Schallwellen zum Theil von seinen Rändern und Flächen zurück und diese rückkehrenden Wellen mit den vom tönenden Körper neu erregten Wellen. Bei der Durchkreuzung der Wellenberge wird aber die Höhe der Wellenberge verstärkt. Weber a. a. O. p. 536.

2. Stehende Schwingungen in schallleitenden Körpern.

Stehende Schwingungen entstehen bei schallleitenden, begrenzten und zugleich elastischen Körpern. Schon vorher wurde angeführt, dass ein begrenzter schallleitender Körper von seinen Rändern und Ecken die fortschreitenden Wellen zurückwerfe, und dass sich dem zufolge die kommenden und rückkehrenden

Wellen kreuzen. Bei einem resonirenden Körper hängt die Breite dieser Wellen nicht von ihm selbst ab, und es sind nicht nothwendig aliquote Theile seines Ganzen, sondern die Breite der Wellen ist durch den tönenden Körper bedingt. Bei einem tönenden Körper sind die entstehenden Wellen immer aliquote Theile seines Ganzen. Aber ein begrenzter schallleitender Körper kann sich selbst wie ein tönender in nähere, grössere Abtheilungen theilen, indem sich Knoten und Knotenlinien bilden. Solche Knotenlinien z. B. zeigen sich nach Savart's Versuchen auf gespannten den Schall leitenden Membranen, wenn man sie mit einem leichten Pulver bestreut. Scheiben zeigen dasselbe, wenn man sie mittelst eines Stabes mit dem tönenden Körper in Verbindung bringt, wie Savart gezeigt hat. Ueber den Unterschied der Klangfiguren mittönender und selbsttönender Körper siehe Weber *Wellenlehre. p.* 541.

Der Ton eines Körpers kann unter bestimmten Bedingungen in einem begrenzten elastischen Körper nicht bloss Resonanz, sondern auch ein Selbsttönen des letztern erregen, in welchem Fall der letztere Körper seinen eigenen, vom ersten verschiedenen Ton giebt. Gespannte Saiten sind des Mitklingens in ihrem eigenen Ton fähig. Hierzu scheint nicht bloss ein hoher Grad von Elasticität und scharfe Begrenzung, sondern auch die Bedingung nöthig zu seyn, dass die Wellen des ersten Tons zu den Wellen des Grundtons des mittönenden Körpers in einem einfachen Verhältnisse stehen.

Endlich aber kann ein elastischer und begrenzter Körper, unter bestimmten Bedingungen auch den Ton eines selbsttönenden Körpers in der Höhe modificiren, indem sich beiderlei Schwingungen gegenseitig zur Bildung von Wellen modificiren, welche weder dem einen, noch dem andern Körper eigen seyn würden. So modificirt die mit einer Zunge verbundene mitschwingende Luftsäule den Ton der Zunge. Siehe oben p. 146. Ein anderes merkwürdiges Beispiel dieser gegenseitigen Einwirkung beobachtete ich an einer Pfeife, deren offenes Ende ich mit einer Membran (Schweinsblase) schloss. Eine einfüssige am Ende mit einem Stopfen gedeckte Pfeife giebt bekanntlich $\bar{c}$ als Grundton, wird aber das Ende der Pfeife statt des Stopfens mit einer locker gespannten Membran gedeckt, so ist der Grundton der Pfeife beim schwächsten Blasen nicht mehr $\bar{c}$, sondern eine Terze bis Quinte tiefer, wird die Membran stärker gespannt, so erhöht sich der Grundton der Pfeife, und bei der stärksten Spannung wirkt die Membran, wie ein fester Stopfen.

Die schallleitenden Flüssigkeiten zeigen in unmittelbarer Berührung mit den tönenden Körpern noch eigenthümliche Beugungswellen an ihrer Oberfläche, welche von den Verdichtungswellen der Schallleitung wohl zu unterscheiden sind. Sie zeigen nämlich auf ihrer Oberfläche sehr regelmässig kleine wellenartige Erhebungen und Vertiefungen, wie stehende Wellen. Diese Erscheinungen sind von Oersted, Purkinje, Chladni und W. Soemmering und Faraday beschrieben. Siehe Chladni und W. Soem-

MERING in KASTNER's *Archiv für die gesammte Naturlehre. B.* 8. *p.* 91. FARADAY *Philos. Transact.* 1831. 319.

Lässt man eine horizontal gehaltene Stimmgabel, deren eine obere Seite mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt ist, in der Luft schwingen, so sieht man die schönsten parallelen stehenden Wellen in der dünnen Wasserschicht, welche meist die ganze Breite der Stimmgabel einnehmen, und ungefähr $\frac{3}{4}$ Linie lang sind. Sie sind gleichsam Abdrücke der Schwingungen des tönenden Körpers, entstanden durch die Bewegungen, welche den Theilchen des Wassers dadurch mitgetheilt werden. Hält man die tönende Stimmgabel mit einer ihrer Flächen in ein Becken mit Wasser, so sieht man von ihren Seiten sehr regelmässige parallele Abtheilungen des Wassers ausgehen, gerade so, als wenn das die Gabel berührende Wasser gleichzeitig mit der Gabel in eine Wellenbewegung geriethe, welche nur eine Fortsetzung oder Verlängerung der Wellen der Gabel wären. Ist die breite Oberfläche der Gabel über dem Wasser des Beckens und nur mit einem dünnen Ueberzug von Wasser versehen, tauchen die Seiten aber ins Wasser des Beckens, so sieht man, dass die Wellen auf der Oberfläche der Gabel, und diejenigen im Wasser des Beckens Verlängerungen von einander sind. Merkwürdig ist aber, dass, welche Fläche der Gabel man ins Wasser tauchen mag, man immer stehende Wellen im Wasser sieht, deren Grenzen senkrecht auf der Oberfläche der Gabel sind. Nur an den Kanten findet hiervon eine Abweichung statt, indem die Linien hier divergirend werden.

Die Erscheinung zeigt sich auch in tönenden Becken, die mit Wasser gefüllt sind, z. B. in Glasgefässen, die mit dem Fidelbogen angesprochen werden, die Wassermasse ist dann wie das Becken je nach der Höhe des Tons in 4, 6 oder 8 Abtheilungen mit Knotenlinien getheilt, zwischen den Knotenlinien zeigen sich bei schwachem Streichen stehende Wellen, deren Grenzen senkrecht sind auf der inneren Fläche des Beckens. Bei stärkerem Streichen entstehen andere Figuren, und durch Kreuzung der Wellen rhomboidische stehende Wellen. Die Breite der Wellen steht in genauem Verhältniss mit der Höhe des Tons, sie sind breiter bei tiefen Tönen. Das Wasser häuft sich übrigens auch an den schwingenden Abtheilungen des Beckens an, und wird spritzend bei stärkerem Streichen ausgeworfen. Wird das Glasgefäss durch Streichen des Randes mit dem Finger in Schwingung versetzt, so bewegen sich die schwingenden Abtheilungen und Knotenlinien beständig, je nach der Lage des streichenden Fingers im Kreise herum.

Glasscheiben, die mit einer dünnen Schichte Wassers bedeckt sind, zeigen die Erscheinnng beim Streichen mit dem Fidelbogen noch schöner.

Heftet man auf die Membran einer Trommel ein Korkstück, und befestigt an diesem ein Stäbchen von Holz, das mit einer runden oder viereckigen Platte endigt, und stellt die Trommel so auf, dass die Platte des Stäbchens leicht in Wasser taucht, so sieht man beim Schwingen der Membran ähnliche Wellen im

Wasser, deren Grenzen wieder senkrecht auf die Seite der Platte sind. Daher erhält man eine sternförmige Figur im Wasser, wenn die Platte rund ist. Eine genügende Erklärung dieser Erscheinungen ist für jetzt nicht möglich.

Faraday sagt, der kleinste mögliche Unterschied in irgend einem Umstande könne während der Schwingungen einer Platte eine Erhebung oder Depression des Fluidums bedingen, und so den ersten Anstoss zum Phaenomen geben, allein ich glaube nicht, dass man hieraus allein und ohne eine regelmässige Unterabtheilung oder ohne die Wellenbewegung im tönenden Körper jene so regelmässigen Erscheinungen erklären kann, obgleich eine befriedigende Erklärung auch in dieser Weise für jetzt nicht möglich ist.

Uebrigens sind die Wellen bei der Schallleitung, Verdichtungswellen, auch im Wasser, wie in der Luft. Die zuletzt erwähnten Wellen an der Oberfläche des Wassers aber sind Erhebungs- oder Beugungswellen.

Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalls hängt von der Dichtigkeit und Elasticität der Körper ab. In trockner Luft beträgt diese in 1 Secunde bei 0° Wärme 332,49 Meter oder 1022,194 P. Fuss. Durch Wärme wird sie vergrössert. Im Wasser geschieht die Fortpflanzung des Schalls ohngefähr viermal so schnell, als in der Luft. Feste Körper leiten den Schall noch schneller. Eisen leitet den Schall $10\frac{1}{2}$ Mal, Holz 11 Mal so schnell als die Luft.

In Hinsicht der Reflexion verhalten sich die Schallwellen, wie die Lichtwellen, sie werden beim Uebergang in ein ungleichartiges Medium, theils weiter geleitet, theils reflectirt. Eine im Brennpuncte eines Hohlspiegels aufgestellte Uhr, lässt ihr Picken in dem Brennpunct eines andern, die Schallstrahlen sammelnden Hohlspiegels hören. Da sich die Schallwellen der Luft schwerer den festen Körpern mittheilen, als sie in der Luft weiter geleitet werden, so erhält sich die Stärke des Schalls in einem Communicationsrohr sehr vollkommen, so wie hinwieder die einem stabförmigen festen Körper mitgetheilten Schallwellen in grosse Fernen fast unverändert ihre Stärke erhalten. Ein Sprachrohr stellt eine Parabel vor, in deren Brennpunct der Schall erregt wird. Zufolge der Reflexion an den Wänden der Parabel gehen die Schallstrahlen in Richtungen fort, welche mit der Achse parallel sind. Vergl. oben p. 396. Die Ursache der Verstärkung ist grossentheils das Zusammenfallen der ursprünglichen Wellen mit den reflectirten, wodurch grössere Verdichtungen entstehen. Aber auch die Resonanz der begrenzten Luftmasse im Rohr kommt in Betracht. Denn die Luft einer an beiden oder an einem Ende offenen Röhre resonirt, wenn sie den Schall leitet. Das Hörrohr wird gegen das Ohr enger und condensirt demnach die Schallwellen. Sind seine Wände parabolisch und befindet sich das Ohr nahe dem Brennpuncte der Parabel, so kommen Schallwellen, deren Directionen der Achse der Parabel parallel sind, in einem dem Ohr nahen Puncte zusammen. Eisenlohr a. a. O. p. 164. Ein Nachhall entsteht, wenn bei grösserer Entfernung einer reflectirenden Wand, die reflectirten Wellen merklich später zum Ohr gelangen,

als die ursprünglichen. Ist der Unterschied so gross, dass sich beide nicht mehr an einander schliessen, so ist es das Echo.

II. Capitel. Von den Formen und akustischen Eigenschaften der Gehörwerkzeuge.

I. Von den Formen des Gehörorgans.

Bei den mehrsten wirbellosen Thieren kennt man keine dem Gehörorgan vergleichbaren Theile, und es kann sogar für Manche zweifelhaft seyn ob sie hören, da nicht jede Reaction gegen Schwingungen Ton genannt werden kann, dieselben Schwingungen vielmehr auch durch das Gefühl als Bebung vernommen werden können.

Ueber die mit dem Gehörorgan verglichenen Theile bei Insecten siehe: Comparetti *obs. anat. de aure interna comparata. Patavii* 1789. Treviranus *Ann. d. Wetterauischen Gesellschaft B. I.* 2. *Frankf.* 1809. *p.* 169. Ramdohr *Magazin d. Gesellschaft naturforschender Freunde. Berlin* 1811. *p.* 389. J. Mueller *Physiologie des Gesichtssinnes* 437.

Das Wesentlichste am Gehörorgan ist in allen Fällen der specifische Gehörnerve, welcher die Eigenschaft hat, Stösse als Ton zu empfinden, nächstdem ein Apparat, welcher diese Stösse zum Gehörorgan gut zu leiten vermag. Da aber alle Materien die Schallschwingungen als Verdichtungswellen leiten, so sieht man leicht ein, dass ein besonderer Leitungsapparat auch fehlen könne. Daher ist es zu erklären, warum bisher bei so vielen Wirbellosen keine besonderen Gehörorgane aufgefunden werden konnten. Der Gehörnerve wird, wenn er bloss an festen Theilen des Kopfes anliegt, die Schwingungen, welche diesen mitgetheilt werden, nicht minder empfinden müssen, als wenn er sich an einem eigenen Organ ausbreitet. Die einfachste Form des Gehörorgans als besondern Apparates ausser dem specifischen Nerven, ist ein mit Flüssigkeit gefülltes Bläschen, auf welchem sich der Hörnerve ausbreitet. Die Schwingungen werden diesem entweder durch die harten Kopftheile, oder zugleich durch eine nach aussen freiliegende Membran zugeführt. In dieser Form ist das Gehörorgan unter den Articulaten bei den Krebsen, unter den Mollusken bei den Cephalopoden bekannt.

Bei den Krebsen liegt es jederseits an der Unterseite des Kopfes am Grundglied der äussern grössern Antenne. Es besteht aus einem knöchernen Vestibulum, dessen nach aussen führendes Fenster durch eine Membran, wie bei den höhern Thieren die Membrana tympani secundaria, geschlossen ist. Im Innern der knöchernen Höhle liegt ein häutiger, mit Wasser gefüllter Sack, auf welchem sich der Gehörnerve ausbreitet.

Das Gehörorgan der Cephalopoden besitzt ein knorpeliges Vestibulum, eine blosse Excavation des Kopfknorpels, ohne Fenster und ohne Membran nach aussen. In dieser Höhle liegt ein

häutiger Sack, auf welchem sich der Gehörnerve ausbreitet. Bei den Octopus ist die innere Wand des Vestibulum glatt, bei Sepia und Loligo mit weichen Knötchen oder Fortsätzen besetzt, welche das Bläschen schwebend tragen. Im Innern des Bläschens befindet sich eine Concretion, Hörstein.

Siehe über das Gehörorgan des Flusskrebses und des Octopus: E. H. Weber *de aure et auditu hominis et animalium. Lips.* 1820. *Tab.* 1. 2.

Bei keinem Wirbelthier ist das Gehörorgan so einfach, als bei jenen Thieren. Früher glaubte man, dass die Petromyzon in dieser Hinsicht jenen gleichen, aber sie besitzen nach meinen Beobachtungen ein complicirtes Labyrinth, und zwei halbcirkelförmige Canäle. Das Gehörorgan zeigt übrigens eine fortschreitende Ausbildung und Zusammensetzung von den Fischen bis zu den Säugethieren. Ueber seinen Bau bei den Wirbelthieren und beim Menschen handeln die Schriften von Scarpa *de auditu et olfactu. Ticini* 1789. Weber a. a. O. Breschet *recherches anatom. et physiol. sur l'organe de l'ouie. Paris* 1836.

A. Fische.

Bei den Fischen fehlt die Schnecke der höheren Wirbelthiere und die Trommelhöhle. Dagegen haben sie das häutige Labyrinth, nämlich den Alveus communis canalium semicircularium, und meist den sackartigen Anhang desselben und halbcirkelförmige Canäle. Das membranöse Labyrinth liegt entweder ganz in der Substanz der Schädelknorpel, wie bei den Knorpelfischen, nämlich den Plagiostomen und Cyclostomen, oder zum Theil in den Schädelknochen, zum Theil innerhalb der Schädelhöhle zwischen Gehirn und Schädelwand, wie bei den Knochenfischen, bei den Stören und Chimaeren.

Wesentlicher sind folgende Hauptdifferenzen bei den Fischen.

1. Nur ein halbcirkelförmiger Canal, welcher ringförmig in sich zurückkehrt, und wovon ein Theil dem Alveus communis entspricht, wo sich nämlich der Gehörnerve ausbreitet. Die Myxinoiden (Myxine und Bdellostoma). Von Retzius zuerst bei Myxine beobachtet.

2. Zwei halbcirkelförmige Canäle, wovon jeder mit einer dreihügeligen Ampulle aus dem Alveus communis canalium semicircularium entspringt. Beide Canäle convergiren, in dem sie auf der Oberfläche des Alveus communis aufliegen, und vereinigen sich bogenförmig; an dieser Stelle stehen sie durch eine Spalte zugleich zum zweiten Mal mit dem Alveus communis in Verbindung, an letzterm zugleich ein säckchenförmiger Anhang. Petromyzon und Ammocoetes. Siehe J. Mueller im Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften. *April* 1836. *Archiv* 1836. *LXXXIV.*

In den beiden ersten Formationen enthält das Labyrinth keine Hörsteine.

3. Drei halbcirkelförmige Canäle in derselben Anordnung, wie bei den höheren Thieren, nämlich von einem Alveus com-

munis ausgehend. Als Anhang des letztern der Sack. In beiden Concremente, wie bei Plagiostomen, oder harte knöcherne Hörsteine, wie bei den Knochenfischen frei enthalten. Der Sack entspricht nicht der Schnecke der höhern Thiere und des Menschen, da der Alveus communis auch bei diesen einen kleinen sackartigen Anhang besitzt.

Bei den Plagiostomen giebt es auch eine Fortsetzung des Labyrinthes bis unter die Haut.

Bei den Haifischen setzt sich bloss die Höhle des Vestibulum cartilagineum durch die Oeffnung im obern Hinterhauptstheil des Schädels bis unter die Haut fort. Bei den Rochen hingegen geht sowohl die Höhle des knorpeligen Labyrinthes, als das häutige bis unter die Haut. Eine Grube im mittlern Hinterhauptstheil des Schädels, die von verdünnter oder auch dichter äusserer Haut überzogen ist, enthält vier Oeffnungen, zwei rechte, zwei linke. Jede hintere führt bloss zum knorpeligen Vorhof, und ist durch ein Häutchen geschlossen. Jede vordere gehört der Verbindung mit dem häutigen Labyrinth an. Zwischen den zwei Oeffnungen im Schädel und der Haut liegen nämlich zwei häutige Säcke, die Höhle eines Jeden setzt sich durch einen Canal, der durch die Schädelöffnung durchgeht, bis in den Alveus communis des häutigen Labyrinthes fort. Dieser Sinus auditorius externus und sein Canal sind mit kohlensaurem Kalk gefüllt, wie solcher auch concrementartig im Alveus communis vorkömmt. Der mit der Haut verwachsene Theil des Sinus auditorius öffnet sich durch drei sehr enge Canälchen durch die äussere Haut nach aussen. Monro *Vergleichung des Baues und der Physiologie der Fische.* 1787. E. H. Weber *a. a. O. Tab. IX.* Bei den Chimaeren fand ich auch eine Oeffnung im Schädel und zwei entsprechende Verdünnungen der Haut, aber die Oeffnung führt in die Schädelhöhle, wo ein Theil des Labyrinthes liegt.

Bei den Knochenfischen kömmt die Verbindung des knöchernen Labyrinthes mit der äussern Oberfläche durch häutig geschlossene Oeffnungen am Schädel nur Ausnahmsweise vor, wie bei zwei Arten von Lepidoleprus nach Otto (Tiedemann *Zeitschrift für Physiologie.* 2. 1. *p.* 86. Lepidoleprus norwegicus hat diese Oeffnung nicht) und Mormyrus cyprinoides nach Heusinger (Meck. *Arch.* 1826. 324.)

Nach E. H. Weber's Entdeckung steht das Labyrinth mehrerer Fische mit der Schwimmblase in einer mittelbaren Verbindung.

Bei mehreren Fischen, wie den Cyprinus, Silurus, Cobitis geschieht diese Verbindung durch Vermittelung einer Kette von beweglichen Knöchelchen. Bei den Cyprinen z. B. stehen beide membranöse Labyrinthe, aus ihrem Alveus communis, den halbcirkelförmigen Canälen und dem Steinsack bestehend, durch Continuität der Membranen mit einem in der Basis des Hinterhaupts verborgen liegenden häutigen Sinus impar in Verbindung, welcher sich nach hinten jederseits in ein häutiges Atrium fortsetzt, welches an der Oberfläche des ersten Wirbels gelegen, zum Theil eine knöcherne Bedeckung hat. An dieses Atrium stösst das er-

ste muschelartige Gehörknöchelchen, das letzte ist mit dem vordern Ende der Schwimmblase verbunden.

Bei den Sparoiden (Boops und Sargus) gehen vom vordern Ende der Schwimmblase zwei Canäle aus, deren blinde Enden an besondern, häutig geschlossenen Oeffnungen des Schädels befestigt sind.

Bei den Clupeen setzt sich das vordere Ende der Schwimmblase in einen Canal fort, der sich gabelig theilt. Jeder dieser Canäle tritt in einen Knochenkanal des Hinterhaupts, hier theilt er sich wieder gabelig, bis jedes der Canälchen in einer knöchernen Capsel sich erweitert. Die eine dieser Capseln enthält bloss das blinde Ende des Fortsatzes der Schwimmblase, in der andern aber stösst ein Fortsatz des häutigen Labyrinthes an den blinden Fortsatz der Schwimmblase.

Bei den Myripristis findet nach Cuvier auch eine Verbindung der Schwimmblase mit dem Labyrinthe statt. Der Schädel ist unten offen, und nur von einer häutigen Wand geschlossen, an welcher die Schwimmblase anhängt.

Die Trommelhöhle und Eustachische Trompete der höhern Thiere, die Nebenhöhlen der Nase bei denselben, die Luftsäcke der Vögel und die Schwimmblase der Fische gehören übrigens in eine Klasse von Bildungen, indem sie sich als mit Luft gefüllte Recessus des Tractus respiratorius und intestinalis ursprünglich bilden, mögen sie später noch durch Gänge oder Oeffnungen mit diesen Höhlen zusammenhängen, oder sich davon ganz isoliren, wie die Schwimmblase mehrerer Fische, denen später der Verbindungsgang mit dem Schlunde fehlt. v. Baer.

Von den Amphibien an sind allgemein entweder ein oder zwei Fenster des Labyrinthes vorhanden, welche entweder ohne mit einer Trommelhöhle in Verbindung zu stehen, und bloss von Haut und Muskeln bedeckt, an die unter die Haut führenden Fortsetzungen des Labyrinthes einiger Fische erinnern, oder mit einer lufthaltigen Trommelhöhle in Verbindung stehen. Das membranöse Labyrinth liegt ganz innerhalb der Schädelknochen. Das Labyrinthwasser enthält nur selten Hörsteinchen, wie bei einigen Amphibien, namentlich den Fischartigen (Menobranchus), meist nur eine Kalkmilch von mikroskopischen Crystallen.

Bei den Amphibien kommen noch grössere Variationen im Bau der Gehörwerkzeuge vor. Sowohl unter den nackten als beschuppten Amphibien giebt es Familien, bei welchen die Trommelhöhle ganz fehlt, und andere, bei welchen sie mit Trommelfell und Eustachischer Trompete vorhanden ist, aber beide Abtheilungen sind darin durchaus verschieden, dass die nackten nur ein Fenster des Labyrinthes und keine Schnecke haben.

B. Nackte Amphibien.

Das einzige Fenster, welches sie besitzen, ist das ovale oder Steigbügelfenster, welches durch den plattenartigen oder kegelförmigen Steigbügel geschlossen wird. Das runde oder Schneckenfenster fehlt mit der Schnecke.

a. Nackte Amphibien ohne Trommelhöhle.

Ihr Gehörknöchelchen ist die Platte des Steigbügels, bedeckt von den Muskeln und der Haut. Das membranöse Labyrinth besteht, wie bei den mehrsten Fischen, aus dem Alveus communis und drei halbcirkelförmigen Canälen. Hieher gehören die Coecilien, (Coecilia und Epicrium), die Derotreten, (Amphiuma, Menopoma), die Proteideen, (Proteus, Menobranchus, Siren, Axolotes, wahrscheinlich auch Lepidosiren), die Salamandrinen, (Salamandra, Triton) und die Bombinatoren unter den Batrachiern oder schwanzlosen nackten Amphibien. Siehe Windischmann *de penitiori auris in amphibiis structura. Bonnae.* 1831.

b. Nackte Amphibien mit Trommelhöhle.

Sie besitzen ein Trommelfell, welches entweder frei oder unter der dicken Haut verborgen liegt, 2—3 Gehörknöchelchen, den mit dem Trommelfell verbundenen Hammer, welcher bloss ein kleines Knorpelplättchen darstellt, den knöchernen Amboss und Steigbügel. Die Eustachische Trompete, ein Recessus der Rachenhöhle, ist hier, wie immer mit dem Vorhandenseyn der Trommelhöhle verbunden. Hierher gehören alle Batrachier oder ungeschwänzte nackte Amphibien mit Ausnahme der Bombinatoren

Bei den ungeschwänzten nackten Amphibien kommen die grössten Verschiedenheiten im Aussentheil des Gehörorganes vor. Man kann sie in 3 Familien bringen.

1. Batrachier ohne Trommelhöhle, Trommelfell und Eustachische Trompete. Bombinatoren: die Gattungen Bombinator, (igneus), Cultripes Muell. (C. provincialis) und Pelobates Wagl. (P. fuscus Wagl.) es ist Cultripes minor Muell.

2. Batrachier mit äusserlich sichtbarem oder unter der Haut verborgenem Trommelfell, Trommelhöhle, die grossentheils häutig ist, drei Gehörknöchelchen und von einander getrennten Oeffnungen der Eustachischen Trompeten. Hierher gehören die meisten Gattungen der Frösche und Kröten, von unseren z. B. Rana, Bufo, Alytes u. A.

3. Frösche mit knorpeligem Trommelfell, ganz von Knochen eingeschlossener Trommelhöhle, zwei Gehörknöchelchen und vereinter einfacher Oeffnung der Eustachischen Trompeten in der Mitte des Gaumens. Hierher gehören bloss die zungenlosen Gattungen Pipa und Dactylethra. Von den drei Gehörknöchelchen der vorigen, ist das erste zum knorpeligen Trommelfell geworden, das zweite erscheint als sehr langer gebogener Stiel, das dritte ist ein kaum bemerkbarer, das Fenster verschliessender blättchenartiger Anhang des vorhergehenden. Siehe J. Mueller in Tiedemann's *Zeitschrift* 4. 2. und Muell. *Archiv* 1836. *LXVII.*

C. Beschuppte Amphibien.

Sie haben das Steigbügel- und Schneckenfenster. Ihre Schnecke besitzt den Bau der Vogelschnecke (mit Ausnahme der Schildkröten).

a. Beschuppte Amphibien ohne Trommelhöhle.

Das Gehörknöchelchen ist die Steigbügelplatte, welche in einen mehr oder weniger langen Stiel auslauft (Columella). Dieser und die Fenster sind von Muskeln und Haut bedeckt. Schlangen, auch Chirotes, Lepidosternon und Amphisbaena.

b. Beschuppte Amphibien mit Trommelhöhle und Eustachischer Trompete.

Die Columella der vorigen, ihr Ende ist an das Trommelfell durch eine faserknorpelige Masse befestigt. Schildkröten, Crocodile, Eidechsen. Auch die fusslosen mit Augenliedern versehenen Eidechsen, Bipes, Pseudopus, Ophisaurus, Anguis, Acontias. Siehe J. Mueller in Tiedemann's *Zeitschrift* 4. 2. Bei den meisten ist das Trommelfell aussen sichtbar, bei einigen der letzteren von der Haut bedeckt.

D. Vögel.

Das Gehörorgan der Vögel gleicht in den mehrsten Puncten, so im Bau der Trommelhöhle, der Columella und der Schnecke demjenigen der Crocodile und Eidechsen. Die Trommelhöhle führt den Höhlungen der Kopfknochen Luft zu, wodurch der Umfang der resonirenden Wände vergrössert wird. Die Schnecke ist nicht gewunden, und ein fast gerader blind geendigter Canal, der durch eine sehr feine membranöse Scheidewand in zwei Gänge getheilt ist, die Scala tympani und Scala vestibuli. Die Scheidewand ist in einem Knorpelrahmen ausgespannt, der nach dem Ende sich wieder schlauchförmig umbiegt, und sich zur Lamelle der Scheidewand, wie der Schuh des Pantoffels zur Sohle verhält. Die Wölbung dieser Flasche wird durch eine gefässreiche in Querrunzeln gelegte Gefässhaut über die ganze Länge der Schnecke fortgesetzt. Diese Runzeln sind es, welche Treviranus für isolirte Claviertastenartige Blätterchen (?) zuerst beschrieben. Im Alveus communis canalium semicircularium und der Flasche der Schnecke befindet sich ein crystallinisches Pulver von kohlensaurem Kalk. Siehe Windischmann a. a. O. Vergl. Huschke in Muell. *Archiv*. 1835. 335. Breschet *Ann. d. sc. nat.* 1836. Muell. *Archiv*. 1837. *LXIV*.

E. Säugethiere.

Das Gehörorgan der Säugethiere unterscheidet sich im Wesentlichen nicht vom Gehörorgan des Menschen, und die Unterschiede der Einzelnen sind meist nicht von solcher physiologischen Wichtigkeit, dass sie hier erwähnt werden dürften. Die Schnecke ist immer gewunden, und besitzt eine um die Spindel laufende theils knöcherne, theils häutige Spiralplatte, nur die Schnecke des Schnabelthiers und der Echidna gleicht in allen Beziehungen derjenigen der Vögel. Die knöcherne Trommelhöhle vieler Säugethiere stellt eine grosse Knochenblase dar, die meist von dem Os tympanicum gebildet wird. Bei Vielen setzt sich die Trommelhöhle in andern angrenzenden Knochen fort. Siehe Hagenbach *die Paukenhöhle der Säugethiere. Basel.* 1835. Bei ei-

nigen giebt es auch eine obere Trommel, indem das Felsenbein blasenartig nach oben und hinten heraustritt, wie bei den Pedetes, Dipus, Macroscelides. Auf diese Weise werden die resonirenden Räume vergrössert. Die Cetaceen und das Schnabelthier haben kein äusseres Ohr, die Eustachische Trompete der Delphine öffnet sich in die Nase, und der äussere Gehörgang der ganz im Wasser lebenden Säugethiere ist ausserordentlich enge.

Ueber die feinere Ausbreitung der Nerven in der Schnecke und Treviranus und Gottsche's Beobachtungen siehe oben *B. I. 3. Aufl.* p. 610. So wie die Nervenfasern in der Schnecke sich auf der Spiralplatte ausbreiten, um von zwei Seiten von Labyrinthwasser umgeben zu seyn, so breiten sie sich auch in den Ampullen nach Steifensands Entdeckung (Muell. *Archiv.* 1835. 171.) auf einem Vorsprunge aus, der aber die Ampulle nicht ganz durchsetzt, sondern bloss hineinragt. In der Ampulle der Säugethiere befindet sich der Ausbreitung des Nerven entsprechend ein querer Wulst als unvollkommenes Septum. Bei den Vögeln hingegen befindet sich auf diesem Septum ein oberer und unterer knopfförmig endigender freier Schenkel, so dass das Ganze ein Kreuz darstellt, dessen quere Schenkel angewachsen, dessen senkrechte Schenkel frei sind. Bei der Schildkröte hat das Septum als Wulst in der Mitte bloss einen erhabenen Umbo. Das Septum der vordern Ampulle steht schief auf der Wand der Ampulle und hat nicht den Umbo, in der äussern Ampulle ist nur die eine Hälfte des Septum vorhanden. Beim Crocodil und den Eidechsen ist die äussere Ampulle, wie bei der Schildkröte; die anderen haben die kreuzförmige Bildung im Innern. Das Septum der Fische ist eine wulstige Querfalte.

Alle akustischen Vorrichtungen am Gehörorgan sind nur Leitungsapparate, wie am Auge die optischen Leitungsapparate des Lichtes sind. Da alle Materie Schallwellen leitet, so muss das Hören schon unter den einfachsten Bedingungen möglich seyn, denn alle materiellen Umgebungen des Hörnerven müssen nun einmal den Schall leiten. Beim Auge war eine gewisse Construction nothwendig, die Lichtstrahlen oder Wellen so zu dirigiren, dass sie dieselbe Ordnung auf dem Nerven annehmen, wie sie vom Object ausgehen. Beim Gehörsinn fällt diess weg. Alle Medien leiten die in der Direction wie in der Zeitfolge verschiedensten Schallwellen trotz der mannigfaltigsten Kreuzungen ungestört; wo immer diese Wellen das Organ und seinen Nerven treffen, müssen sie zur Perception kommen. Die ganze Ausbildung des Gehörorganes kann daher bloss in der Erleichterung der Leitung und Multiplication der Wellen durch Resonanz beruhen und in der That lassen sich alle akustischen Apparate des Gehörorganes auf diese beiden Principien zurückführen.

Zum Hören an und für sich sind also weder Trommelfell, noch Gehörknöchelchen, noch Schnecke, noch halbcirkelförmige Canäle, noch selbst Vestibulum und Labyrinthwasser nöthig. Daher alle diese Theile auch fehlen können. Das Gehörorgan der Wirbellosen ist schon auf ein blosses Bläschen reducirt und bei vielen Wirbellosen wird selbst dieses vermisst und es scheint der

blosse specifische Nerve zu genügen. Jeder Körper leitet Wellen; der Körper eines Thiers und die nächsten Umgebungen des Gehörnerven nehmen sie in derselben Ordnung auf, in der sie das schallleitende Medium fortpflanzt, es kann daher nicht einmal behauptet werden, dass die Unterscheidung der Höhe und der relativen Stärke der Wellen besondere Apparate erfordere, aber die Schärfe und absolute Intensität der Töne wird mit der akustischen Ausbildung des Organes zunehmen.

Die Bedeutung dieser Apparate wird am besten erkannt, wenn man sie von ihren einfachsten Formen bis zu dem, was allmählig hinzukömmt, verfolgt; auf diesem Wege lernt man das kennen, was von anderem unabhängig ist und was sich gegenseitig bedingt.

II. Von der Schallleitung bis zum Labyrinth bei den im Wasser hörenden Thieren.

Bei den in der Luft lebenden Thieren gehen die Schallwellen der Luft zuerst an feste Theile des Thieres und des Gehörorganes und von diesen zum Labyrinthwasser über. Die Stärke des Gehörs eines in der Luft lebenden und in der Luft hörenden Thieres muss daher davon abhängen, in welchem Grade die festen Theile des Gehörorganes Luftwellen aufzunehmen fähig sind und welche Verminderung der Excursionen der schwingenden Theilchen beim Uebergang der Schwingungen aus der Luft an die äusseren Theile des Gehörorganes stattfindet, in welchem Grade ferner das Wasser des Labyrinthes Schwingungen der äusseren Theile des Gehörorganes aufzunehmen fähig ist. Der ganze äussere Theil des Gehörorgans ist, wie wir sehen werden, darauf berechnet, die an sich schwierige Aufnahme von Luftschwingungen an feste Theile zu erleichtern.

Bei den im Wasser lebenden und im Wasser hörenden Thieren ist das Problem ein ganz anderes. Das Medium, welches die Schallschwingungen zuführt, ist Wasser, es bringt sie zu den festen Theilen des Thierkörpers, von da sie gelangen wieder in Wasser, zum Labyrinthwasser. Die Intensität des Gehörs hängt hier wieder davon ab, in welchem Grade die festen Theile des Gehörorganes, durch welche die Schallwellen zuerst hindurch müssen, fähig sind, Wellen aus dem umgebenden Wasser aufzunehmen und wieder an Wasser (des Labyrinthes) abzugeben, und welche Verminderung der Excursionen der schwingenden Theilchen bei diesem Uebergange stattfindet. Wir werden hier wieder sehen, dass der ganze äussere Theil des Gehörorganes darauf berechnet ist, diesen Uebergang zu erleichtern.

Da die Mittheilung der Wellen aus der Luft an feste Körper, und aus dem Wasser an feste Körper sehr ungleich ist und durch sehr ungleiche Mittel verstärkt wird, so hat die Natur im äussern Theile des Gehörorganes bei den in der Luft und im Wasser hörenden Thieren ganz verschiedene Apparate dazu nöthig gehabt, während hingegen der innere Theil des Gehörorga-

nes in beiden Fällen viel mehr uniform ist. Im Allgemeinen ist das Problem bei den im Wasser lebenden Thieren einfacher. Der Uebergang der Schwingungen vom äussern Medium bis zum Nerven geschieht durch 3 aufeinanderfolgende Leiter, wovon 2 aber gleich sind; 1) äusseres Wasser, 2) feste Theile des Thieres und Gehörorganes, 3) Labyrinthwasser. Bei den Luftthieren geschieht die Mittheilung durch 3 aufeinander folgende Medien, welche sämmtlich ungleich sind, Luft, feste Theile des Thieres und Gehörorganes, Wasser des Labyrinthes. Aus diesem und keinem andern Grunde ist das Gehörorgan der Luftthiere im Allgemeinen zusammengesetzter, als das der Wasserthiere. Da das Gehörorgan der im Wasser lebenden Thiere, wie der Fische, in der Regel ganz von festen Theilen eingeschlossen ist, so ist die erste Frage diese, wie verhält sich die Mittheilung von Schallwellen aus dem Wasser an feste Theile und von diesen an Wasser (das Labyrinthwasser)? Beim Uebergang von Luftwellen an feste Körper findet eine beträchtliche Verminderung der Excursionen oder Stösse der schwingenden Theilchen statt, während die Mittheilung der Wellen aus tönender Luft an Luft, und von tönenden festen Körpern an feste Körper ohne alle Verminderung geschieht. Den vollen Ton eines festen Körpers, wie einer Saite (ohne Resonanzboden), hört man nur dann, wenn er vom festen Körper durch feste Körper bis zu festen Theilen des Gehörorganes geleitet wird, z. B. indem man einen Stab zwischen den Steg der Saite und das ausgestopfte äussere Ohr legt. Befindet sich aber Luft zwischen dem tönenden festen Körper und dem Ohr, so ist der Ton schwach, denn die Mittheilung der Wellen aus einem festen Körper an die Luft ist schwer und geschieht mit einer Verminderung der Excursion der schwingenden Theilchen oder des Stosses. Umgekehrt wird der Ton tönender Luft (wie eines Blaseinstrumentes) vortrefflich durch die Luft fortgeleitet und zum Gehörorgan gebracht, theilt sich dagegen schwer und nur mit einer Verminderung der Intensität der Stösse festen Körpern mit. Daher der Ton einer Pfeife nicht besser gehört wird, wenn man an das zugestopfte Ohr einen Stab bringt, der bis in die Nähe der tönenden Luft reicht. Ist es nun ebenso beim Uebergang von Wellen des Wassers an feste Körper? findet auch hier eine Verminderung der Stösse statt?

Ueber diesen Gegenstand sind noch gar keine Untersuchungen angestellt. Der bisherige unvollkommene Zustand der Akustik der Gehörwerkzeuge, welche, richtiger gesagt, wohl kaum noch existirte, bestimmte mich, eine Reihe Untersuchungen zu diesem Zwecke anzustellen, wovon ich hier die Resultate mittheile.

I. Die festen Körper nehmen die im Wasser selbst erzeugten Schallwellen mit grosser Stärke aus dem Wasser auf.

Ein Becken von Glas, Porzellan, Holz ist bis an den Rand mit Wasser gefüllt. Auf dem Wasser schwimmt eine Schale, ohne das Becken zu berühren, in der Schale erregt man durch Herabfallen eines Körpers einen Schall. Stopft man sich die Ohren fest mit Bolzen von gedrehtem Papier zu, deren in den Ge-

hörgang gebrachtes Ende vorher gekaut war, und deren äusseres, trockenes Ende aus dem Ohr heraussteht, so hört man durch die Luft den Schall eines festen Körpers äusserst schwach, durch einen Stab von Holz oder besser eine Glasröhre, die man an den tönenden festen Körper und an den Bolzen im Ohr hält, äusserst stark. Taucht man nun den an das Ohr gehaltenen Stab in das Wasser des Beckens, während man etwas in die schwimmende Schale fallen lässt, so hört man aus dem Wasser einen sehr starken und reinen Klang, wie er der Schale eigen ist und sehr viel stärker, als dieser Schall durch die Luft geleitet wird. In diesem Fall sind die Schallwellen aus der Schale oder dem festen Körper an das Wasser und aus dem Wasser wieder an den Stab und so zum Gehörorgan gelangt. Daraus sieht man beides, dass tönende feste Körper nicht bloss ihre Schallwellen mit grosser Stärke an das Wasser abgeben, sondern dass auch das Wasser sie mit grosser Stärke wieder an feste Körper, den Stab abgiebt, durch welchen man sie hört. Wird der Stab beim Versuch ins Wasser gehalten, oder damit die Wand des grössern Beckens berührt, so sind die Bedingungen ziemlich gleich. Der Schall geht aus der Schale ins Wasser, aus diesem entweder unmittelbar in den Stab, oder durch Vermittelung eines zweiten festen Körpers in den Stab. Im letztern Fall kann der Schall etwas stärker seyn, indem noch die Resonanz des Beckens in Betracht kommt.

II. Schallwellen fester Körper gehen stärker durch andere damit in Verbindung gesetzte, feste Körper fort, als aus festen Körpern in Wasser, aber viel stärker aus festen Körpern im Wasser, als aus festen Körpern in der Luft fort.

Diess ergiebt sich leicht bei dem vorhergehenden Versuch. Am stärksten ist nämlich der Ton, wenn man den mit dem Bolzen des Ohrs in Verbindung gesetzten Stab lose an die auf dem Wasser schwimmende Schale selbst hält, während ein Ton darin erregt wird. Schon viel schwächer ist der Ton des Wassers umher, wenn man den Stab hineinhält. Aber die Luft leitet den Schall der Schale am schwächsten; denn der Ton, der durch sie allein zum Bolzen des Ohrs kömmt, ist sehr viel schwächer im Verhältniss zu dem Ton, der aus der Schale selbst und aus dem Wasser durch den Stab zum Bolzen oder Obturator des Ohrs geleitet wird.

III. Schallwellen der Luft theilen sich dem Wasser sehr schwer und sehr viel schwerer, als sie in der Luft fortgehen; sie theilen sich aber dem Wasser sehr leicht mit durch Vermittelung einer gespannten Membran.

Dass man im Wasser Töne vernimmt, welche in der Luft erregt werden, ist eine bekannte Thatsache; aber von grossem Interesse scheint mir die von mir beobachtete Thatsache, dass eine gespannte Membran, welche Wasser und Luft zugleich berührt, den Uebergang der Luftwellen in das Wasser in einem ausserordentlichen Grade erleichtert. Lasse ich eine einfussige messingene oder hölzerne Pfeife ohne Seitenlöcher, so anblasen, dass das untere Ende in Wasser taucht, so höre ich bei

verstopften beiden Ohren den Ton mittelst des in das Wasser getauchten Stabes nur sehr schwach, selbst dann, wenn die Fläche des Wassers senkrecht auf die Achse der Pfeife ist, die Luftwellen also senkrecht auf das Wasser stossen. Wird hingegen das untere Ende der Pfeife mit einer dünnen Membran (Schweinsblase) zugebunden, die nur wenig gespannt ist, so höre ich bei verstopften Ohren, wenn die ins Wasser gehaltene Pfeife angeblasen wird, den Ton sehr stark mit dem an den Obturator des Ohrs und ins Wasser gehaltenen Stabe, besonders, wenn sich der Stab in der Richtung der Wellenbewegung oder in der Direction der Pfeife befindet. Diese Töne sind sehr klangreich. Der tiefste oder Grundton der Pfeife beim schwächsten Blasen oder auch einer der mittlern Töne eignen sich am besten zum Versuch. Zum Stabe bedient man sich eines Stabs von Holz oder noch besser einer Glasröhre von 6—8 Linien Durchmesser, deren Wände senkrecht gegen die Direction der Schallwellen des Wassers gehalten werden. Fährt man, bei an das verstopfte Ohr gehaltener Röhre, mit dieser im Wasser hin und her, so schwillt jedesmal der Ton sehr stark an, so wie er vor der Membran der Pfeife vorbei geht. Diese Vorrichtung ist bei den weiteren Versuchen über das Hören im Wasser und die akustische Bedeutung der einzelnen Theile des Gehörorganes unentbehrlich; sie hat mir die grössten Dienste geleistet und ich wäre ohne dieselbe zu keinen Resultaten gekommen. Bei den hohen Tönen der Pfeifen ist die Verstärkung wenig oder gar nicht bemerkbar. Dieser Versuch beweist auch, dass die Verbreitung der Schallwellen sich im Wasser wie in der Luft verhält, dass nämlich die Stosswellen in der Richtung des ursprünglichen Stosses stärker sind, wenn gleich die Wellen auch im Allgemeinen kreisförmig oder kugelförmig sind.

IV. Schallwellen, die sich im Wasser fortpflanzen, und durch begrenzte feste Körper durchgehen, theilen sich nicht bloss stark dem festen Körper mit, sondern resoniren auch von den Oberflächen des festen Körpers in das Wasser, so dass der Schall im Wasser in der Nähe des festen Körpers auch da stark gehört wird, wo er zufolge der blossen Leitung im Wasser schwächer seyn würde.

Wird nämlich der im vorhergehenden §. beschriebene Versuch angestellt, so hört man bei verstopften Ohren den Ton der ins Wasser gehaltenen, am Ende durch Membran geschlossenen Pfeife, mittelst des ins Wasser getauchten Conductors in der Direction der Pfeife sehr stark, wenn sich bloss Wasser zwischen dem Ende der Pfeife und dem Conductor befindet. Wird nun zwischen beide ein dünnes Brettchen von Holz gebracht, so dass die Schallwellen vom Wasser durch die Zwischenwand, dann wieder durchs Wasser bis zum Conductor gelangen, so hört man den Ton in der Direction der Pfeife so stark, oder fast eben so stark, als wenn das Brettchen weggenommen wird, aber man hört auch den Ton in der Nähe der Oberflächen des ganzen Brettchens ziemlich stark, wenn der Conductor bloss das Wasser in der Nähe der Wände des Brettchens berührt, ohne an das Brettchen anzustossen. Der Ton ist hier stärker, als im übrigen Wasser.

Diese Verstärkung findet in der Nähe aller Wände des Brettchens statt, und ist in ziemlicher Entfernung von dem Hauptzug des Stosses noch merklich. Wird das resonirende Brettchen entfernt, so ist der Ton nur an den Stellen stark, welche dem Stoss der Wellen der Pfeife gegenüber liegen. Auch in der Nähe der Wände des Wasserbeckens ist die Resonanz dieser Wände merklich, wenn sie von Holz sind.

V. Schallwellen, die sich im Wasser fortpflanzen, erleiden auch eine theilweise Reflexion von den Wänden des festen Körpers.

Dieser Satz, der bei der Akustik des Labyrinthes benutzt wird, muss hier schon im Zusammenhange erwähnt werden. Am besten überzeugt man sich von der theilweisen Reflexion der Schallwellen im Wasser, mittelst der mehrfach erwähnten Vorrichtung. Die mit Membran geschlossene Pfeife wird nämlich in das Wasser eines grössern Beckens getaucht. In diesem befindet sich ein mit Wasser ebenfalls gefüllter, am Ende verschlossener, gläserner Cylinder von 6 Zoll Länge, der von einer Person mit den Händen umfasst und so gehalten wird, dass keine Berührung mit den Wänden des Beckens stattfindet. Das Ende der Pfeife wird in die Mündung des Cylinders eingesenkt und dann schwach ihr Grundton angeblasen. Wird nun der Conductor ebenfalls gegen die Mündung des Cylinders gehalten, ohne die Wände des Cylinders und der Pfeife zu berühren, so hört man bei verstopften Ohren mittelst des Conductors den Ton der Wasserwellen eben so stark, als wenn er der Mündung der Pfeife entgegengesetzt wäre. Diese Stärke des Tons ist eine Folge der Reflexion von den Wänden des Cylinders, nicht bloss der Resonanz des Cylinders. Denn die Stärke des Tons bleibt sich gleich, wenn man die Resonanz des Cylinders möglichst geschwächt hat durch Ueberziehen seiner inneren Wände mit einer Lage von Talg und Dämpfung seiner äusseren Wände durch Umfassen mit beiden Händen. Dagegen ist der Ton im Wasser an der äussern Umgebung des Cylinders viel schwächer.

VI. Dünne Membranen leiten den Schall im Wasser ungeschwächt, mögen sie gespannt oder ungespannt seyn.

Wurde nämlich im Wasser zwischen das membranös geschlossene Ende der Pfeife und den in der Direction der Pfeife gehaltenen Conductor, eine membranöse Scheidewand aufgestellt, so zeigte sich nicht der geringste Unterschied in der Stärke des Schalles, während er in den seitlichen Richtungen überall schwach war. Zuerst wurde zur Scheidewand eine gespannte Membran benutzt, ein Stück Schweinsblase über einen grossen Ring gespannt. Aber ungespannte Membranen, die bloss im Wasser aufgehängt werden, zeigen denselben Erfolg. Ich legte mehrere Schichten getrockneter und wieder erweichter Schweinsblase auf einander, drückte sie zusammen und die Luft zwischen ihnen aus, und hing die stärkere Scheidewand auf. Selbst wenn 4—8 Lamellen dicht auf einander lagen, wurde noch einige Verstärkung in der Richtung der Pfeife bemerkt. Noch mehrere Membranen hoben sie auf. Ein Stück Haut des Menschen und die 3 Linien dicke Wand des Uterus einer Schwangern als Scheidewand benutzt,

hoben alle Verstärkung auf, und der Ton wurde hinter der Scheidewand nicht stärker, als an jeder andern Stelle des Wassers vernommen, die ausser der Hauptdirection der Wellen war.

VII. Aus dem III. IV. und VI. Satze erklärt sich der Vorgang der Schallleitung bei den meisten im Wasser lebenden, nicht luftathmenden Thieren.

Wenn wir bei sehr fest verstopften Ohren Schallwellen des Wassers mittelst eines hölzernen Conductors hören, so versetzen wir uns ganz in den Zustand des Fisches, und hören die Töne so wie dieser. Untertauchen des Kopfes ins Wasser ist weder nöthig, noch zu einer ruhigen Beobachtung geeignet. Der feste Conductor erweitert die festen Theile unseres Kopfes, und setzt sie wie beim Fisch unmittelbar den Schallwellen des Wassers aus. Das einfache oder zusammengesetzte Labyrinth der im Wasser lebenden Thiere ist entweder ganz von den Schädelknorpeln und Knochen eingeschlossen, wie bei den Sepien, Cyclostomen und Knochenfischen, oder es ist zugleich eine Communication des Labyrinthes mit der Oberfläche des Thiers vorhanden, und die Vermittelung geschieht auch durch Membran. Dahin gehört die Membran vor der Hörcapsel der Krebse, und das Fenster der Plagiostomen auf der Oberfläche des Kopfes, welches von verdünnter Haut geschlossen ist. Die Kopfknochen sind übrigens auch der Resonanz im Wasser fähig, d. h. die ihnen mitgetheilten Schwingungen prallen zum Theil von ihren Oberflächen zurück, und bilden in ihnen selbst zurücklaufende Wellen, welche dem Labyrinth zu Gute kommen. Diess folgt aus den im *IV.* Satz erwähnten Thatsachen. Bei den Haifischen und Rochen mit weichem knorpeligem Skelet mag diese innere Resonanz der Kopfknochen geringer seyn, als bei den Knochenfischen. Daher ist vielleicht bei ihnen die fensterartige membranöse Verbindung des Labyrinthes mit der Oberfläche nöthig geworden. Bei den Cyclostomen gehört die Gehörcapsel zu den festen Theilen des Skelets. Bei ihnen liegen noch Muskeln über der Gehörcapsel, welche die Schallleitung vermindern müssen.

VIII. Luftmassen resoniren im Wasser von den Schallwellen des Wassers, wenn die Luft von Membranen oder festen Körpern eingeschlossen ist, und bringen dadurch eine ansehnliche Verstärkung des Tones hervor.

Eine Person erregte mittelst der mit Membran geschlossenen in Wasser gesenkten Pfeife Schallwellen im Wasser in bestimmter Richtung, während ich mit dem ins Wasser getauchten Conductor, diese meinem verstopften Ohr zuleitete. Nun wurde zwischen das Ende der Pfeife im Wasser und den Conductor die Schwimmblase einer Plötze mit den Fingern frei im Wasser hingehalten, so dass die Schwimmblase weder die Pfeife noch den Conductor berührte. In diesem Falle wird der mit dem Conductor hörbare Ton ausserordentlich viel stärker, als wenn die Schallwellen zu dem im Wasser, in derselben Entfernung gehaltenen Conductor bloss durch das Wasser, und nicht zugleich durch die Schwimmblase gelangen. Hierdurch wird bewiesen, 1) dass der Schall durch Vermittelung von Membranen sehr leicht vom

Wasser zur Luft und umgekehrt übergeht, und keine Schwächung erleidet; 2) dass er, wenn die Luft zugleich von Membranen eingeschlossen ist, die von Wasser allseitig umgeben sind, durch die Resonanz der begrenzten Luft bedeutend verstärkt wird, indem die Schallwellen von den Grenzen der Luft zum Theil zurückgeworfen werden und dadurch stärkere Schallwellen entstehen.

XI. Mit Luft gefüllte Membranen resoniren im Wasser, auch wenn die Schallwellen von festen Körpern der Blase mitgetheilt werden.

Wurde die Schwimmblase einer Plötze in den Spalt eines Stäbchens durch Einklemmung befestigt, der Stab an die Wände eines Beckens festgehalten, so dass die Schwimmblase ins Wasser frei hineinragte, dann eine tönende Stimmgabel auf den Rand des Beckens aufgesetzt, so hörte ich die dem Wasser mitgetheilten Schallwellen mittelst des an die verstopften Ohren gehaltenen Conductors sehr viel stärker in der Nähe der Schwimmblase, als an anderen Stellen des Wassers, die gleichweit von der Ursprungsstelle des Schalls entfernt waren und der Ton war so stark, wie wenn ich den Conductor im Wasser den Wänden des Beckens näherte.

Bei dichterer Luft muss diese Resonanz stärker seyn. Diess folgt bereits aus dem für die Schallleitung in der Luft geltenden Gesetz, dass die Intensität mit der Dichtigkeit der Luft zunimmt, und dass der Schall einer Glocke im verdünnten Luftraum sehr schwach wird bis zum Schweigen. Directe Versuche mit einer Schwimmblase zeigen jedoch nur einen sehr geringen Unterschied, wenn ihre Luft comprimirt wird, als wenn sie schlaff ist. Ich stellte den Versuch so an, dass ich die Schwimmblase an das Rohr einer luftdichten Spritze anband, durch welche die Blase mit sehr condensirter Luft gefüllt werden konnte. Die Schwimmblase dehnt sich dabei fast gar nicht aus, weil sie von einer äussern sehnigen Haut umgeben ist.

X. Aus den vorhergehenden Thatsachen folgt, dass die Schwimmblase bei den Fischen zugleich Resonator für die durch den Körper des Fisches durchgehenden Schallwellen ist.

Dieser Luftraum bekommt die Schallwellen des Wassers theils durch die weichen Theile des Körpers des Fisches, theils durch die Knochen, namentlich die Wirbelsäule, vor welcher sie liegt, zugeleitet, und wird eine Ursprungsstelle für Resonanzwellen, welche sich hier wieder ihren Umgebungen, namentlich den Knochen mittheilen. Im Allgemeinen kann daher nicht geläugnet werden, dass die Schwimmblase selbst bei den Fischen, bei welchen sie nicht mit dem Gehörorgane zusammenhängt, Einiges zur stärkern Wirkung des Schalles auf das Gehörorgan beitrage. Wo aber diese Verbindung besteht, sei es durch eine Kette von Gehörknöchelchen bis zum Labyrinth, oder durch unmittelbares Anstossen der Schwimmblase an das membranöse Labyrinth, steht die Schwimmblase als Resonanzboden, Condensator und Leiter der den ganzen Körper treffenden Schallwellen mit dem Labyrinthe in der unmittelbarsten Wechselwirkung. Bei den Cobitis scheint diese Function der Schwimmblase Hauptzweck gewor-

den zu seyn. Ihre sehr kleine Schwimmblase liegt in einer blasigen Aushöhlung des zweiten Wirbelkörpers, und ist zum grössten Theile von Knochensubstanz umgeben, während sie nach vorne mit dem Labyrinthe durch die Gehörknöchelchen zusammenhängt.

Da die Fähigkeit zur Leitung und Resonanz mit der Dichtigkeit der Luft in der Schwimmblase zunimmt, so muss die Einwirkung dieses Organes in grossen Tiefen des Wassers, wo es durch den verstärkten Druck bedeutend comprimirt wird, auf das Gehör stärker seyn. J. Mueller's *Physiologie des Gesichtssinnes* 1826. *p.* 441. Vergl. Carus *im Bericht über die Versammlung der Naturforscher in Jena. Weimar* 1837.

Bei den im Wasser lebenden Amphibien wie den Proteideen, Amphiumen, Menopomen, Tritonen, Bombinatoren ist die Schallleitung vom Wasser zum Labyrinthwasser ausser der Leitung der Kopfknochen nicht durch ein mit der Haut geschlossenes Fenster, wie bei den Rochen und Haifischen, sondern durch ein Fenster mit einem beweglichen Deckelchen, der Steigbügelplatte erleichtert. Dieses ist durch Membran an den Rand des Fensters geheftet, über ihm, wie über den Kopfknochen liegen Haut und Muskeln. Man kann mittelst einer ähnlichen Vorrichtung leicht sich überzeugen, wie viel dieses Fenster beim Hören im Wasser leistet. Die Hauptvortheile dieser Einrichtung sind jedoch nicht für das Hören im Wasser, sondern für das Hören in der Luft berechnet, wie sich hernach ergeben wird. Zum Hören im Wasser würde die Einrichtung des Fensters nicht nöthig gewesen seyn. Die genannten Amphibien sind Luftthiere und Wasserthiere zugleich.

III. Von der Schallleitung bis zum Labyrinth bei den in der Luft lebenden Thieren.

Die intensive Schallleitung von der Oberfläche des Thiers bis zum Labyrinthwasser erfordert bei einem in der Luft lebenden Thiere einen viel zusammengesetztern Apparat, als bei den Wasserthieren. Denn die Mittheilung des Schalls von der Luft an die festen Theile, welche das Gehörorgan und Labyrinthwasser umgeben, ist sehr viel schwieriger, als die Mittheilung des Schalls im Wasser von diesen an feste Theile. Daher kommen nun bei den meisten Luftthieren zwei Fenster vor, wovon das eine durch Membran, das andere durch einen festen Deckel geschlossen ist, Die meisten haben auch eine Trommel und Trompete und eine doppelte Leitung zum Labyrinth, die eine, wo die Leitung vom Trommelfell aus durch feste Körper, Gehörknöchelchen zum Labyrinthwasser geschieht, Weg des ovalen Fensters; die zweite, wo die Leitung vom Trommelfell zum secundären Trommelfell des runden Fensters und Labyrinthwassers durch Vermittelung von Luft geschieht. Der Disput in den physiologischen Schriften, auf welchem dieser Wege die Leitung geschehe, hat gar keinen physicalischen Sinn. Die Luft leitet, Membranen leiten, Gehörknöchelchen leiten, jedes thut also, was es nicht lassen kann.

Eine doppelte gleichzeitige Leitung verschiedener Art muss natürlich den Eindruck verstärken. Die Gesetze dieser Leitung sind bisher nicht ermittelt. Hier wird dieser Gegenstand einer ebenso ausführlichen Untersuchung unterworfen, wie das Hören im Wasser.

Um den akustischen Werth jedes Organtheils kennen zu lernen, muss man sie in ihrer stufenweisen Entwickelung studiren.

a. Luftthiere ohne Trommelhöhle.

Die Luftthiere ohne Trommelhöhle sind fast nie auf die blosse Leitung durch die Kopfknochen angewiesen. Die Mittheilung von der Luft an feste Theile ist zu schwach, als dass sie genügen könnte. Fast alle Luftthiere, auch diejenigen ohne Trommelhöhle, haben Fenster, welche zum Labyrinth führen, und bei den letztern sind sie von Haut und Muskeln bedeckt. Nur bei Rhinophis und Typhlops fand ich keine Fenster und Gehörknöchelchen.

I. Schallwellen, welche aus der Luft ins Wasser übergehen, erleiden eine beträchtliche Verminderung ihrer Intensität, gehen aber mit der grössten Stärke von der Luft zum Wasser durch Vermittelung einer gespannten Membran über.

Dieses ist das Grundphänomen, von welchem wir ausgehen. Der einfache Beweis ist in dem Versuche gegeben, dass die Töne einer Pfeife, die mit ihrem Ende in Wasser getaucht wird, auch wenn die Schallwellen senkrecht auf das Wasser stossen, nur sehr schwach aus dem Wasser mittelst des an die verstopften Ohren gehaltenen Conductors gehört werden, dass der Ton aber sehr stark ist, wenn das ins Wasser getauchte Ende der Pfeife mit einer dünnen Membran geschlossen ist. Hierdurch ist sogleich die Wirkung des runden Fensters und seiner Membran klar. Es vermittelt die intensive Leitung der Schallwellen aus der Luft an das Labyrinthwasser, mag eine Trommelhöhle vorhanden seyn oder nicht. Liegt auch die dünne Membran des runden Fensters nicht frei an der Oberfläche, sondern ist bei den Schlangen von Haut und Muskeln bedeckt, so sind doch diese Bedeckungen kein wesentliches Hinderniss. Auch wenn man den Verschluss der Pfeife aus mehreren Lamellen von Schweinsblase macht, und das Ende in Wasser gesetzt, den tiefsten Ton der Pfeife anblässt, kann man den Ton im Wasser mittelst des Conductors sehr viel stärker hören, als wenn die Pfeife durch einen eingesetzten Stopfen geschlossen war. Diese eigenthümliche Wirkung der Membranen hängt, wie man leicht einsieht, nicht bloss von ihrer Dünnheit, sondern von der Verschiebbarkeit und Elasticität ihrer Theilchen ab. Bei einem festen Körper wird die Mittheilung des Schalles aus der Luft an ihn gleich geschwächt, mag er dick, oder dünn seyn. Denn das Hinderniss findet bloss beim ersten Uebergang statt. Eine Membran kann daher bei jenen Wirkungen nicht bloss unter dem Gesichtspuncte eines sehr dünnen Körpers aufgefasst werden. Von ihrem eigenen ausdehnungsfähigen Zustande hängt es ab, dass sie die Luftwellen leicht aufnimmt, als wäre sie selbst Luft, und leicht an das Wasser abgiebt, als wäre sie Wasser.

Durchnässung der Membranen ist übrigens zu jenen Erscheinungen nicht nöthig, die Membran am Ende der Pfeife kann auch trocken seyn, die Mittheilung ist auch dann schon sehr stark, ehe sie im Wasser aufgequollen ist. Diess ist wieder auf die Membran des runden Fensters bei den Thieren mit Trommelhöhle anzuwenden.

II. Schallwellen gehen aus der Luft ohne merkliche Veränderung ihrer Intensität an Wasser auch dann über, wenn die vermittelnde gespannte Membran mit dem grössten Theil ihrer Fläche an einem kurzen, festen Körper angeheftet ist, der allein das Wasser berührt.

Dieser Satz erläutert die Wirkung des ovalen Fensters, und seiner beweglich eingesetzten Steigbügelplatte bei den Luftthieren ohne Trommelhöhle und Trommelfell, wie bei den Bombinatoren und Schlangen. Auf die Membran, welche ich locker über das Ende der Pfeife gespannt, leimte ich einen Korkstopfen auf, welcher ½ Zoll lang und so breit war, dass er die Membran bis auf eine Linie vom Rande bedeckte. Wurde nun das Ende der Pfeife ins Wasser gesenkt und der tiefste Ton angeblasen, so hörte ich mittelst des gegen die Richtung der Pfeife im Wasser gehaltenen Conductors bei verstopften Ohren fast denselben starken Ton, wie wenn die Pfeife mit blosser Membran geschlossen ist. Sogleich wird der Unterschied bemerklich, so wie der Conductor aus der Richtung der Pfeife und des Stopfens kömmt, dann ist der Ton nämlich viel schwächer. Wurde hingegen das Ende der Pfeife durch einen Stopfen ganz zugestopft und das Ende ins Wasser gesenkt, die Pfeife angeblasen, so war in der Richtung der Pfeife keine merkliche Verstärkung zu vernehmen, und derselbe Stopfen war nun ein Hinderniss, der die starke Schallleitung zulässt, wenn er begrenzt und mittelst eines Saumes von Membran beweglich ist.

Es geht aus diesen Beobachtungen hervor, dass beide Fenster, das von Membran geschlossene und das mit beweglichem Steigbügel geschlossene, sehr gute Leiter für die Mittheilung der Schallwellen an das Labyrinthwasser sind.

Von den in der Luft lebenden Thieren ohne Trommelhöhle haben die Bombinatoren, die Landsalamander und die Coecilien nur das mit dem Deckel geschlossene; die Schlangen hingegen haben beide Fenster.

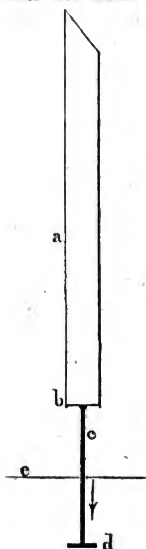
b. Trommelfell und Gehörknöchelchen.

III. Schon ein kleiner fester Körper, der beweglich durch einen häutigen Saum in ein Fenster eingesetzt ist, leitet die Schallwellen von der Luft zum Wasser (oder Labyrinthwasser) viel besser, als andere feste Theile. Diese Leitung wird aber noch viel mehr verstärkt, wenn der solide, das Fenster schliessende Leiter an der Mitte einer gespannten Membran befestigt ist, die von beiden Seiten von Luft umgeben ist.

Luftschwingungen gehen schwer an feste Körper, und mit einer beträchtlichen Verminderung ihrer Intensität über. Eine Membran wird aber leicht dadurch in Bewegung gesetzt. Schon

aus SAVART's Versuchen weiss man, dass kleine gespannte Membranen, ja das Trommelfell selbst, bei einem in dessen Nähe erregten starken Ton, den Sand abwerfen. Es lässt sich auch durch Versuche direct beweisen, dass eine gespannte Membran viel leichter, als andere begrenzte feste Körper die Luftwellen leitet, und dass wieder, was ebenso wesentlich ist, die Leitung der Schwingungen einer gespannten Membran an feste begrenzte Körper sehr leicht geschieht. Unter diesem Gesichtspunct nämlich als Vermitteler zwischen Luft und Gehörknöchelchen ist das Trommelfell bisher nicht aufgefasst worden. Ich stellte folgende Versuche an.

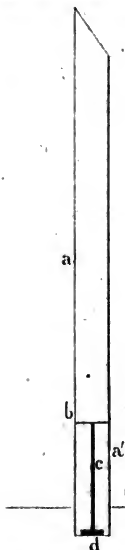
Eine auf einem Becher gespannte sehr dünne Membran von Papier wirft Lycopodiumsamen bei Annäherung der tönenden Stimmgabel durch Mittheilung der Luftschwingungen leicht, ein fester Körper von einiger Dicke dagegen gar nicht ab. Die gespannte Membran leitet aber auch die von der Luft mitgetheilten Schwingungen mit grosser Leichtigkeit oder Stärke auf feste, sie in einem Punct berührende Körper fort. Legt man nämlich eine Holzplatte mit dem einen Ende auf die Membran einer Trommel, und fasst das andere Ende mit der ganzen Hand, so empfindet diese die Bebungen vollkommen deutlich, wenn die tönende Stimmgabel frei über die Membran gehalten wird. Dagegen leitet die von der Membran isolirte Holzplatte unter gleichen Bedingungen die von der Luft mitgetheilten Schwingungen nur sehr schwach. Die Resonanz des Luftraums der Trommel ist in dem folgenden Versuch vermieden. Spannte ich auf einen Ring ganz dünnes Papier und fasste den Ring mit der einen Hand, so fühlte ich die Bebungen, als ich die Stimmgabel der Membran näherte. War die Membran entfernt, so fühlte die den Ring haltende Hand die Bebungen nicht, wenn auch die Gabel dem Ring sehr genähert wurde.



Auf folgende Weise lässt sich nun noch genauer die intensive Schallleitung durch die Gehörknöchelchen durch Vermittelung der die Luftschwingungen aufnehmenden Membrana tympani zur Anschauung bringen Ich spannte auf das Ende der einfussigen Pfeife *a*, eine trockene dünne Membran *b* (Schweinsblase), leimte auf die Mitte derselben ein kleines Korkstückchen, und befestigte auf dieses ein dünnes Stäbchen von Holz *c*, an dessen anderes Ende wieder eine Korkscheibe *d* angesteckt wurde. Das Ende des Stabes wurde in Wasser *e* getaucht, und dann der tiefste Ton oder einer der mittlern Töne der Pfeife angeblasen. Wurde der Conductor (eine ½ Zoll weite Glasröhre) bei verstopften Ohren mit dem einem Ende aus Ohr, mit dem andern ins Wasser ge-

halten, so wurde der Ton in einer auf die Korkplatte senkrechten Richtung im Wasser ausserordentlich stark, viel schwächer aber an den andern Stellen des Wasser empfunden. Bei diesem Versuch kann man sich auch überzeugen, dass die stärksten Wellen in longitudinaler Richtung im Stabe fortgehen. Denn wird der Conductor von der Seite dem Stäbchen im Wasser genähert, so hört man den Ton zwar etwas stärker, aber bei weitem nicht so stark, als in einer auf die Korkplatte *d* senkrechten Richtung. Ist die Membran ceteris paribus durch einen fest eingesetzten Korkstopfen ersetzt, so hört man im Wasser keine oder eine sehr geringe Verstärkung des Tones in der Richtung des Stabes.

Der Erfolg ist ganz derselbe, wenn man die Trommelhöhle im Grossen nachbildet und ihre Schallleitung von der Luft auf das Wasser untersucht. *a* ist die Pfeife, *a'* eine hölzerne Röhre, welche in das Ende der Pfeife fest eingesteckt werden kann. Auf dem der Pfeife zugewandten Ende dieser Röhre ist eine Membran *b* gespannt, an welche der Stab *c* stösst. Das untere Ende des Stabes ist an eine Korkscheibe *d* befestigt, welche auf eine über das Ende der Röhre gespannte Membran so fest geleimt ist, dass die Scheibe durch einen häutigen, eine Linie breiten Saum mit dem Rohr *a'* in Verbindung steht. Die Pfeife *a* stellt den äusseren Gehörgang vor, durch welchen Luftwellen dem Trommelfell *b* zugeleitet werden. Der mit Luft gefüllte Raum zwischen *c* und *a'* stellt die Trommelhöhle vor, *cd* ist der Steigbügel, in seinem Fenster beweglich. Wird das Ende des Apparates in Wasser getaucht, und die Pfeife angeblasen, so hört man den Ton in der Richtung des Steigbügels so stark, wie in dem vorigen Versuch.



Die Gehörknöchelchen leiten die ihnen mitgetheilten Schwingungen um so besser, als sie von Luft begrenzte feste Theilchen sind und nicht continuo in die Schädelknochen übergehen. Denn jeder begrenzte feste Körper leitet Schallwellen durch sich selbst stärker, als auf seine Umgebungen, wodurch eine Zerstreuung nach den Umgebungen so sicher, wie in der begrenzten Luftsäule eines Communicationsrohrs (bei Luftschwingungen) vermieden wird. Die Schwingungen des Trommelfells gelangen also durch die Kette der Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster und Labyrinthwasser, indem eine Zerstreuung von den Gehörknöchelchen auf den Luftraum der Trommelhöhle durch die erschwerte Mittheilung von festen Theilen auf luftförmige vermieden wird. Da das Trommelfell als gespannter und begrenzter Körper selbst wieder die Wellen von seinen Grenzen zurückwirft, und also kreuzende Verdichtungswellen auf ihm erzeugt werden, so kömmt es auch unter dem Begriff der Resonanz in Betracht. Die auf diese Weise ver-

stärkten Wellen wirken wieder gegen die Kette der Gehörknöchelchen.

Es entsteht nun die Frage, von welcher Art die Schwingungen des Trommelfells sind, Beugungsschwingungen wie an transversalschwingenden Saiten und Membranen oder Verdichtungswellen. Erhält eine Saite oder ein Stab in der Richtung ihrer Länge einen Stoss, so entstehen keine Ausbeugungen, sondern blosse fortschreitende Verdichtungen oder Verdichtungswellen, erhält aber ein hinreichend dünner Körper, eine Saite, eine Membran in einer auf ihre Länge oder Ebene senkrechten Richtung einen Stoss, so entstehen auch Beugungswellen, welche, wenn der Stoss nur eine Stelle des Körpers traf, vom Ort ihrer Entstehung nach den Grenzen des Körpers ablaufen und zurücklaufen, wie Wellen des Wassers, oder wenn der Stoss die ganze Breite des Körpers vor sich her trieb, in ganzer Breite des Körpers stattfindende transversale Beugungen verursachen. Entstehen solche Beugungswellen auch an schallleitenden Membranen, wenn der Stoss senkrecht auf sie trifft, oder bewirkt er blosse Verdichtungen? Allerdings hüpft Sand und Lycopodiumpulver auf schallleitenden schwingenden dünnen Platten und dünnen Membranen, ja selbst wie Savart zeigte, auf dem Trommelfell, wenn sehr starke Töne in seiner Nähe erregt werden. Daraus kann man aber nicht gerade schliessen, dass der Körper, auf welchem sie sich bewegen, eine Beugungsschwingung mache, denn auch eine Verdichtungsschwingung könnte als Stoss leichte Körperchen bewegen, und die in die Luft übergehende Verdünnungswelle kann sie auch mit sich fortreissen. Auch die Knotenlinien schallleitender Platten beweisen keine Transversalchwingungen, denn auch ein mit Verdichtungswellen schwingender Körper kann mit Knoten schwingen, wie die Luft in den Pfeifen. Saiten, welche den Ton einer andern dicht neben ihnen aufgespannten Saite leiten, schwingen wenigstens für das Gesicht nicht mit Beugungsschwingungen. Daraus folgt wieder nicht, dass diese nicht da sind. Sie werden nicht gesehen, wenn die Excursionen nicht hinreichend breit sind. Einen sichern Beweis von der Möglichkeit dieser Schwingung bei einer schallleitenden Membran liefert aber die Trommel. Wird das eine Fell derselben durch Schlag in Schwingung gesetzt, so schwingt sehr deutlich das zweite Fell mit ansehnlichen Excursionen transversal. Auch die Fensterscheiben sind bei Kanonenschall der Beugung und selbst Zerbrechung durch die Luftwelle ausgesetzt. Es kömmt also bloss auf die Stärke des durch die Tonschwingungen mitgetheilten Stosses an, ob ein membranöser, gespannter, schallleitender Körper Beugungsschwingungen machen wird. Es kann daher die Möglichkeit der Beugungsschwingungen bei dem Trommelfelle nicht in Abrede gestellt werden, obgleich die Excursionen seiner Beugungen auch bei den stärksten Schallen bei seiner Kleinheit sehr gering seyn werden. Genauer ausgedrückt wird das Trommelfell in allen Fällen in Transversalschwingungen gerathen, wenn seine Excursionen oder die progressiven Bewegungen der Theilchen, die ihnen von einer Verdichtungswelle der Luft mitgetheilt werden, grösser sind, als die Dicke des Trommelfells.

Bei einer gewissen Stärke der Stösse der Luft muss diess aber der Fall seyn. Da die Gehörknöchelchen articulirt und so angelegt sind, dass eine Annäherung ihrer äussersten Enden möglich ist, so werden die Excursionen des Trommelfells durch die Kette der Gehörknöchelchen nicht gestört werden. Selbst bei den Thieren, die nur ein Gehörknöchelchen besitzen, wie die Vögel und beschuppten Amphibien, ist das äusserste mit dem Trommelfell verbundene Ende mobil. Hieraus ergiebt sich auch, dass die Articulation der Gehörknöchelchen keine blosse Folge ihrer Muskulatur ist, was auch durch die vergleichende Anatomie bewiesen wird, da die Gehörknöchelchen des Frosches so gut articulirt, als die des Menschen, aber ohne Muskulatur sind.

Eine genauere Zergliederung der Fortpflanzung der Schallwellen im freien Luftraum zeigt jedoch, dass nur bei den stärksten Stössen Beugungsschwingungen des Trommelfells entstehen können. Ist die Excursion der Theile eines tönenden Körpers oder der Stoss so stark, dass die Schnelligkeit der Theile des stossenden Körpers so gross ist, als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft, so wird die Bahn, welche die schallleitenden Lufttheilchen in einer Röhre durchlaufen, wenn die Welle durch ihre Stelle durchgeht, auch so gross seyn, als die Bahn des stossenden Körpers. Ist die Schnelligkeit des Stosses nur halb so gross, als die Schnelligkeit des Schalls in der Luft, so ist die Bahn der schwingenden Theilchen der Luft in einer Röhre auch nur halb so gross, als die Bahn des stossenden Körpers. Diese Bahn bleibt sich dann gleich für alle Lufttheilchen der Röhre, durch welche die Welle durchgeht. Weber *Wellenlehre p.* 503. Am leichtesten werden daher im Allgemeinen Beugungsschwingungen des Trommelfells entstehen, wenn der Schall bei grossen Excursionen des tönenden Körpers gleich stark durch eine Röhre bis zum Trommelfell fortgepflanzt wird. Die Fortpflanzung des Schalls im freien Luftraum bedingt aber eine fortschreitende Abnahme der Bahnen der schwingenden Theilchen der Luft. Bleibt sich gleich die Dicke der Welle, d. h. der Raum vom Anfang einer Welle bis zum Anfang der nächsten Welle bei der Vergrösserung des Umfanges der sich ausdehnenden kugelförmigen Welle unverändert, so nimmt doch die Bahn der Theilchen, durch welche die Welle durchgeht, ab, wie die Quadrate der Entfernungen. Weber *Wellenlehre p.* 504. Wäre z. B. die Bahn der schwingenden Theilchen in unmittelbarer Nähe des stossenden oder tönenden Körpers ein Zoll gewesen, so würde die Bahn derselben bei 2 Fuss $\frac{1}{4}$ Zoll, bei 3 Fuss $\frac{1}{9}$, bei 4 Fuss $\frac{1}{16}$, bei 10 Fuss $\frac{1}{100}$ Zoll oder weniger, als die Dicke des Trommelfells seyn. Beim Trommelfell kömmt überdiess noch der Unterschied seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit von derjenigen der Luft und der Widerstand seiner Befestigungen in Betracht, welche eine viel geringere Progression zulassen werden, selbst wenn die dasselbe stossenden Lufttheilchen eine Excursion machen, welche seine Dicke übertrifft.

Die dem Trommelfell durch sehr starke Stösse mitgetheilte Beugungsschwingung wird das Trommelfell in ganzer Breite ein-

nehmen, wenn die Wellen der Luft senkrecht das Trommelfell treffen. Treffen sie schief auf dasselbe, so dass ein Theil des Trommelfelles zuerst davon berührt wird, so wird auch die Bewegung an dieser Stelle zuerst entstehen, und sich über das Trommelfell so hinbewegen, wie die Beugungswelle, die am Ende eines Seiles, einer Saite oder an einer einzelnen Stelle des Felles einer Trommel erregt wird. Diese Wellen werden von den Rändern abgeworfen hin und herlaufen.

Bei der schiefen Stellung des Trommelfells muss diess selbst in dem Falle geschehen, wenn die Schallwellen gerade durch den Meatus auditorius externus durchgehen, oder wenn die Schallstrahlen parallel mit seiner Achse sind. Bei anderen Directionen der Wellen kömmt die Reflexion von den Wänden des Ganges in Betracht und davon hängt es ab, wie und wo sich zuerst Wellen auf dem Trommelfell bilden.

Von der Fortpflanzung blosser Verdichtungswellen durch das Trommelfell gilt dasselbe. Entweder treffen die Wellen der Luft es in ganzer Breite zugleich, oder eine Stelle desselben zuerst, und laufen dann auf dessen Breite, je nach der Direction der Wellen, in einer bestimmten Richtung ab, und wieder zurück zur Bildung kreuzender Verdichtungswellen. Alle Wellen, welche von festen Theilen auf das Trommelfell geleitet werden, z. B. durch den Ohrknorpel, die Wände des Gehörganges, die Kopfknochen sind natürlich auch Verdichtungswellen. Das Trommelfell wird auch zum Condensator für diejenigen Wellen, welche ihm von festen Theilen irgend zugeleitet werden.

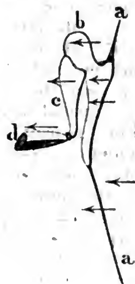
Ist die Welle der Luft zusammengesetzt, so dass sie, während sie fortschreitet, abwechselnd das Maximum ihrer Verdichtung oder den Scheitel ihres Berges hin und herwirft, wie eine Saite, die an einem Ende gestossen, diese Bewegung zugleich, während einer Transversalschwingung macht, so wird auch das Trommelfell diese Bewegung theilend, die davon abhängige Modification des Klanges, Timbre bewirken. Die Beugungsschwingung des Trommelfells würde dabei ganz derjenigen der vorher erwähnten Saite gleichen, Die Verdichtungsschwingungen würden dabei eine gerade, durch das Trommelfell schreitende Verdichtungswelle mit einem zugleich seitlich hin- und her wogenden Maximum der Verdichtung und Verdünnung seyn. Man sieht leicht ein, wie dergleichen zusammengesetzte Wellen auch durch die Gehörknöchelchen unverändert geleitet werden müssen.

Die Nothwendigkeit der Luft auch auf der innern Seite des Trommelfells, oder die Nothwendigkeit der Trommelhöhle ergiebt sich von selbst, wenn das Trommelfell und die Gehörknöchelchen dem vorher aufgestellten Zweck entsprechen sollen. Ohne diese Bedingung sind weder die Schwingungen des Trommelfells frei, noch sind die Gehörknöchelchen zur concentrirten Fortpflanzung der Wellen isolirt. So leicht sich die Beugungsschwingungen des Trommelfells der Luft der Trommelhöhle mittheilen werden, so wenig ist die feste Substanz der Gehörknöchelchen geeignet, ihre Wellen an die Luft der Trommelhöhle abzugeben und zu zerstreuen. Ebenso nothwendig ist aber auch die Communication

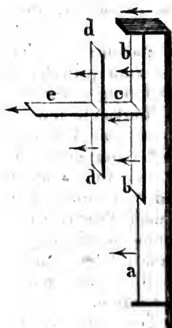
dieser Luft der Trommelhöhle mit der äussern Luft, durch die Eustachische Trompete zur Herstellung des Gleichgewichts des Drucks und der Temparatur der äussern und innern Luft.

Die Fortpflanzung der Schwingungen durch die Gehörknöchelchen bis zum Labyrinth kann natürlich bloss durch Verdichtungswellen geschehen, auch dann, wenn das Trommelfell Beugungen macht. Nicht der ganze Steigbügel wird bei dieser Leitung abwechselnd dem Labyrinth genähert und davon entfernt. Denn dann müsste das Labyrinthwasser sehr zusammendrückbar seyn. Die Bahnen der schwingenden Theilchen, durch welche die Welle durchgeht, sind nur sehr kleine Theile der Länge des Steigbügels.

Der Stiel des Hammers empfängt die Wellen des Trommelfells und der Luft in einer auf ihn selbst fast senkrechten Richtung. Diese Direction behalten die Wellen auch in der ganzen Kette der Gehörknöchelchen, welches auch die relative Lage derselben und ihrer einzelnen Theile seyn mag.



Aus dem Stiel des Hammers pflanzt sich zwar die Welle zunächst in den Kopf des Hammers fort, welcher unter einem Winkel vom Stiele abgeht, und aus dem Kopf des Hammers geht die Welle in den Ambos über, dessen langer Fortsatz wieder dem Stiele des Hammers fast parallel ist. Aus diesem Fortsatz des Ambosses gelangt die Welle durch den Steigbügel, welcher wieder eine senkrechte Richtung auf den langen Fortsatz des Ambosses hat. Siehe die beistehende Figur *aa* Trommelfell, *b* Hammer, *c* Ambos, *d* Steigbügel. Alle diese Wendungen in der Lage der Gehörknöchelchen verändern die Direction des Stosses nicht, und er behält dieselbe Direction, welche er durch den Gehörgang auf das Trommelfell und den Stiel des Hammers hatte, so dass der Steigbügel, welcher eine auf das Trommelfell senkrechte Stellung hat, longitudinale Stösse erfährt und dem ovalen Fenster zuleitet. Diess ergiebt sich zur Evidenz aus Savart's Untersuchungen über die Schallleitung durch feste Platten, welche unter Winkeln aufeinander stossen.



Wird die Platte *b* auf den Steg einer Saite *a* befestigt, so dass sie die Schwingungen der Saite empfängt, so geräth die Platte, wie die Saite in transversale Schwingungen. Eine senkrecht auf ihr befestigte Platte *c* geräth in longitudinale Schwingungen, d. h. in solche, die wieder mit den Schwingungen der ersten Platte *b* in derselben Richtung erfolgen. Die Schwingungen der Platte *d* sind wieder transversal, wenn sie auf der vorhergehenden *c* senkrecht ist, und die auf *d* senkrechte Platte *e*

schwingt wieder longitudinal. Dieses ergiebt sich, wie Savart zeigte, aus der Richtung in welcher der Staub abgeworfen wird. Die Richtung der Schwingungen ist in der Figur durch Pfeile angezeigt. Vergleicht man mit dieser Figur, die vorhergehende Figur von den Gehörknöchelchen, so lässt sich die Aehnlichkeit nicht verkennen. In der Figur von Savart kann man die Saite *a* mit dem Trommelfell vergleichen. Die am Steg befestigte Platte *b* gleicht dem Stiel des Hammers, der als Spanner des Trommelfells selbst auch Steg desselben ist. Die Platte *c* entspricht dem Kopf des Hammers, die Platte *d* dem langen Fortsatz des Ambosses, die Platte *e* dem Steigbügel.

b. Spannung des Trommelfells.

IV. Eine kleine, stark gespannte Membran leitet den Schall schwächer, als im schlaffen Zustande.

Die Frage, ob das Trommelfell besser im schlaffen, oder im gespannten Zustande den Schall leite, lässt sich auf Membranen überhaupt ausdehnen. Hier muss man sogleich zwischen Mitklingen, Resonanz und Stärke der Schallleitung unterscheiden. Was zuerst das Mitklingen betrifft, so ist ein durch Spannung elastischer Körper dazu fähig, wenn er gespannt ist, im schlaffen Zustande ist er dazu nicht fähig. Eine gespannte Saite ist des Mitklingens in ihrem eigenen Ton unter gewissen Umständen, und im Allgemeinen der Resonanz fähig. Ein gespanntes Fell einer Trommel verstärkt den Ton einer frei darüber gehaltenen Stimmgabel viel mehr, als wenn die Gabel über eine ganz schlaffe Membran gehalten wird. Soll aber ein Körper in seinem eigenen Grundton mitklingen, so muss er so gestimmt seyn, dass sein Grundton entweder unison ist mit dem primitiven Ton, oder sein Grundton muss wenigstens in einem einfachen Verhältniss zum primitiven Ton stehen. Sonst wird er bloss resoniren, aber nicht in seinem eigenen Ton mitklingen.

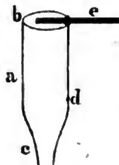
Auch die Stärke der Resonanz hängt ceteris paribus von der Stimmung eines Körpers, und ihrem Verhältniss zum primitiven Ton ab. Hält man eine Stimmgabel über die Oeffnung verschieden langer Pappröhren, so ist die Resonanz der Luftsäule um so geringer, je mehr der Grundton der Luftsäule von dem Ton der Gabel abweichen würde, die Resonanz ist also bei einer gewissen Länge der Röhre am stärksten. Ist die Länge der Luftsäule so gross, dass der Grundton der Luftsäule dem primitiven Ton gleich ist, so tritt Mitklingen ein, auch wird die Resonanz nach Wheatstone stark seyn, wenn die Länge der Luftsäule ein Multiplum ist derjenigen Länge der Luftsäule, welche einen unisonen Grundton mit der Stimmgabel hat. Denn dann können sich in dem schallleitenden Körper Schwingungsknoten bilden. Ein Glasgefäss kann man durch Eingiessen von Wasser so stimmen, dass es den Ton der Stimmgabel stark oder schwach resonirt. Diess angewandt auf die Saiten und Felle, so ist zwar eine ganz schlaffe Saite, und eine ganz schlaffe Membran zur Resonanz ungeschickt, oder ungeschickter als eine gespannte, aber mit der Stärke der Spannung wird die

Resonanz nicht im geraden Verhältniss zunehmen können. Sie wird vielmehr bei gleich bleibender Masse des gespannten Körpers dann am stärksten seyn, wenn der Grundton des gespannten Körpers unison ist mit dem primitiven Ton.

Bei so kleinen Membranen, wie die Membrana tympani würde die specielle Anwendung nicht gut ausführbar seyn. Viel wichtiger wird hier die Frage, ob die Stärke der Mittheilung von der Luft an das Trommelfell mit der Spannnng des Trommelfells zu oder abnimmt.

Savart war der Erste und bis jetzt der Einzige, der sich auf dem Wege der Erfahrung mit der Beantwortung dieser Frage beschäftigt hat. Er beobachtete, dass das trockene Trommelfell bei Annäherung eines stark tönenden Körpers aufgestreuten Sand stärker abwarf, wenn es schlaff, als wenn es gespannt war, und schloss daraus, dass das Hören durch stärkere Spannung des Trommelfells gedämpft werde. *Ann. d. chim. et phys.* 26. Savart beobachtete denselben Erfolg, wenn er eine Membran durch einen aufgesetzten Hebel stärker spannte. Wenn ich ganz dünnes Papier auf einen Becher spannte, sah ich denselben Erfolg, den Savart beobachtete. Indessen lässt sich aus dem starken Abwerfen des Sandes nicht sicher auf die Intensität der Stösse schliessen. Muncke (Gehler's *physic. Wörterb.* 4. 2. *p.* 1210. 8. *p.* 501.) bemerkt, dass das Hüpfen des Sandes ohne von der Intensität der Bebungen herzurühren, auch bloss von weiterer Ausdehnung, Amplitudo der Bebungen entstehen könne und dass der die Spannung bewirkende Hebel einen Knoten in der Membran bilde, der die Breite der schwingenden Theile verkürze. Auch von Fechner wurde die Richtigkeit der Schlussfolge von Savart in Zweifel gezogen. Unter diesen Umständen schien es mir von grossem Interesse, directe Versuche über die Schallleitung kleiner Membranen im schlaffen und gespannten Zustande mit Benutzung des eigenen Gehörs als Messers der Stärke der Schallleitung anzustellen.

Eine hölzerne Röhre von 8 Linien Durchmesser des Lumens und 4 Zoll Länge, *a* läuft an dem einen Ende in einen schmälern Hals *c* aus, welcher so eingerichtet, dass er tief und fest in den äussern Gehörgang eingesetzt werden kann. Dieses engere Ende ist offen. Das andere Ende *b* ist mit einer Membran schlaff überzogen. Auf die Membran *c* ist ein dünnes Stäbchen *e* von 2 Lin. Breite so aufgeleimt, dass das Stäbchen bis über die Mitte der Membran reicht und dass das grössere Ende frei absteht. Wo das Stäbchen auf dem mit Membran bedeckten Rande des Rohrs aufliegt, ist es durch ein Band auf das Rohr festgehalten, wodurch ein Gelenk entsteht. Wird das Ende *e* erhoben, so wird das auf der Membran aufliegende Ende gesenkt, die Membran eingedrückt und gespannt. So gleicht der Apparat im Allgemeinen den natürlichen Verhältnissen und das Stäbchen mag den Hammer vorstellen. Wurde nun das engere



Ende des Apparats ins Ohr fest eingesetzt, uud das andere Ohr durch einen Stopfen von gekautem Papier fest geschlossen, so konnte die Stärke der Schallleitung bei grösserer und geringerer Spannung leicht verglichen werden. Durch eine ganz kleine Oeffnung in der Röhre bei *d* kann man auch noch den Einfluss der Eustachischen Trompete anbringen, und die Luft im Innern des Rohrs ins Gleichgewicht mit der äussern Luft setzen. Der Erfolg bleibt sich indess im Allgemeinen gleich und es ist besser die Oeffnung weg zu lassen, weil durch dieselbe auch Schallwellen ins Innere des Rohrs und zum Ohr gelangen können, ohne durch die Membran durch zu gehen. In allen Fällen wurde der gleiche Erfolg beobachtet. Die Schallleitung war viel stärker bei schlaffer Membran, als wenn durch Heben des Stäbchens die Membran gespannt wurde. Als tönender Körper kann eine Taschenuhr benutzt werden. Indess jedes Geräusch wird stärker bei schlaffer Membran gehört, und die Dämpfung nimmt in geradem Verhältniss mit der Spannung der Membran zu.

Man kann aber auch sein eigenes Trommelfell stärker spannen und denselben Einfluss erfahren. Das Trommelfell kann man am Cadaver, abgesehen vom Anziehen des Hammers, auf doppelte Weise stärker spannen: 1) wenn die Luft in der Trommelhöhle von der Eustachischen Trompete aus durch Saugen verdünnt wird, 2) wenn die Luft der Trommel durch Blasen in die Trompete verdichtet wird. Im ersten Fall wird das Trommelfell von aussen nach innen gedrückt, im zweiten Fall von innen nach aussen gedrückt, ohne dass im letzten Falle der Stiel des Hammers nachgiebt, so dass die Mitte des Trommelfells auch bei der Ausweichung nach aussen ihre Stelle behauptet.

Beide Arten der Spannung des Trommelfells kann man auch leicht am lebenden Körper, an sich selbst bewirken, entweder, indem man bei zugehaltener Nase und Mund stark und anhaltend ausathmet, oder indem man unter denselben Umständen stark und anhaltend die Brust durch die Inspirationsbewegung ausdehnt. Im ersten Falle wird die verdichtete Luft mit einem Gezisch in die Trommelhöhle getrieben, augenblicklich hört man schlecht. Dieselbe Schwerhörigkeit tritt ein bei der Spannung des Trommelfells nach innen durch Einathmen Die letztere Thatsache ist von Wollaston (*Phil. Transact.* 1820.) zuerst beobachtet. Da im letztern Falle die Schwerhörigkeit auch nach dem Oeffnen des Mundes noch fortdauert, indem wegen Collapsus der Wände der Trompete durch das vorhergehende Einathmen, das Gleichgewicht nicht eintreten kann, so hat man auch Gelegenheit zu bemerken, dass auch die eigene Stimme bei stärkerer Spannung des Trommelfells schwächer gehört wird. Habe ich die stärkere Spannung des Trommelfells durch Verdichtung der Luft der Trommelhöhle bewirkt, so tritt bei der Wiedereröffnung des Mundes oder der Nase gewöhnlich schnell wieder das Gleichgewicht der Luft der Trommel und der äussern Luft ein, und das Gehör stellt sich gewöhnlich sogleich her. Nur zuweilen erfolgt die Herstellung erst allmählig Habe ich hingegen die Spannung des Trommelfells durch Verdünnung der Luft der Trommel bewirkt, so dauert die Schwerhörigkeit ge-

wöhnlich sehr lange an, und während der ganzen Zeit fühle ich sehr deutlich eine Spannung im Trommelfell. In beiden Fällen kann ich die Schwerhörigkeit und fühlbare Spannung des Trommelfells, wenn sie nicht von selbst bei Oeffnung des Mundes vergehen, durch eine eigene Bewegung im Ohr wieder verschwinden machen, von der ich hernach beweisen werde, dass es eine willkührliche Bewegung des Musculus tensor tympani ist. Wahrscheinlich geschieht die Herstellung oder Wiederöffnung der zusammen liegenden Wände der Eustachischen Trompete durch leichte Compression der Luft der Trommelhöhle, vermöge der Anziehung des Trommelfelles durch den Musculus tensor tympani. Wer diese Bewegung des Tensor tympani nicht machen kann, kann die, auf die angezeigte Weise hervorgebrachte Schwerhörigkeit leicht durch die entgegengesetzte Ursache aufheben. War die Schwerhörigkeit durch Auswärtstreiben des Trommelfells hervorgebracht, so athme man bei zugehaltener Nase und Mund gewaltsam ein, und umgekehrt im umgekehrten Falle.

Wird die äussere Luft oder die Atmosphäre stark verdichtet, ohne dass die Luft der Trommelhöhle wegen Aneinanderliegen der Wände der Trompete sogleich ins Gleichgewicht mit der äussern Luft tritt, so wird natürlich das Trommelfell nach einwärts getrieben und gespannt, und dann Schwerhörigkeit eintreten. So muss man meines Erachtens die räthselhafte Beobachtung von Colladon in der Taucherglocke erklären, wo er die Stimme seiner Gefährten, sowohl als seine eigene Stimme nur schwach hörte. Aus schlechter Schallleitung der verdichteten äussern Luft, wie Einige den Erfolg erklärt haben, lässt sich jene Thatsache nicht einsehen. Denn verdichtete Luft leitet den Schall besser.

Die Schwerhörigkeit, welche durch grössere Spannung des Trommelfells eintritt, ist keine ganz allgemeine für die hohen und tiefen Töne zugleich. Wollaston hat vielmehr beobachtet, dass wenn er die Spannung des Trommelfells durch Verdünnung der Luft der Trommelhöhle verstärkte, er nur taub für die tiefen Töne wurde. Schlug er einen Tisch mit der Spitze seines Fingers an, so gab das Brett einen dumpfen tiefen Ton, schlug er ihn mit dem Nagel an, so entstand ein höherer durchdringender Ton. Bei der Verdünnung der Luft in der Trommelhöhle hörte er nur den letztern Ton, nicht den tiefen. Das dumpfe, tiefe Gerassel eines Wagens wurde bei der Luftverdünnung und Spannung des Trommelfells nicht mehr wahrgenommen, aber das Geklirr der Ketten und andern Eisenwerkes am Wagen wurde auch dann sehr scharf gehört. Diese Versuche sind vollkommen richtig und ich glaube, dass sie jeder an sich wird bestätigen können, der sich hinreichend übt. Es ist übrigens zu bemerken, dass die Spannung des Trommelfells durch Luftverdichtung ganz denselben Erfolg hervorbringt. Das dumpfe Dröhnen beim Fahren der Wagen über eine Brücke oder der Kanonen in der Nähe meiner Wohnung, der Schlag ferner Trommeln verschwinden bei der Spannung des Trommelfells auf die eine oder andere Weise augenblicklich, aber das Trippeln der Pferde auf dem Steinpflaster, das feinere Geknarr der Wagen, das Knistern an Papier höre ich sehr scharf

bei gespanntem Trommelfell. Sehr auffallend ist der Erfolg beim Picken einer 8 Fuss von mir entfernten Taschenuhr. Diess höre ich bei gespanntem Trommelfell durchaus so scharf, wie im gewöhnlichen Zustande, vielleicht noch schärfer, während bei dieser Spannung augenblicklich aller dumpfe Lärm der Strasse stumm wird.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ist aus dem vorausgeschickten leicht. Je mehr das Trommelfell gespannt wird, um so mehr würde sein Grundton und alle Töne, die es selbst mit Schwingungsknoten angeben könnte, sich erhöhen, in demselben Grade würde aber auch seine Fähigkeit zu vollkommenen Mitschwingungen für tiefere Töne abnehmen. Je mehr ein Ton dem Eigenton des sehr gespannten Trommelfells homolog ist, um so leichter wird er auch im gespannten Zustande des Trommelfells noch gehört werden.

Bei dieser Gelegenheit lässt sich eine Anwendung auf die Pathologie machen. Es kömmt nicht ganz selten vor, dass Schwerhörige bloss die Fähigkeit zum Hören tieferer Töne verloren haben, während sie die Fähigkeit für hohe, wenn auch schwache Töne behalten. Ein schwerhöriger College von mir hört hohe Töne besser als tiefe. In einem solchen Fall lässt sich eine zu starke Spannung des Trommelfells als sehr wahrscheinlich vermuthen. Dieser Umstand kann in der dunkeln Diagnostik der Ohrenkrankheiten als wichtiges Moment benutzt werden. Diese zu starke Spannung kann natürlich auf mehrfache Weise verursacht werden, 1) durch Verschliessung der Eustachischen Trompete. Die Luft der Trommelhöhle kann sich dann vermöge der Körperwärme ausdehnen, sie kann auch theilweise resorbirt werden, in beiden Fällen muss aber das Trommelfell entweder nach aussen oder innen stark gespannt werden. 2) Contractur des Musculus tensor tympani. Bei meinem Collegen ist die Trompete frei, denn er kann Luft in die Trommelhöhle blasen. Im ersten Fall, wenn die Spannung des Trommelfells entweder durch Ausdehnung der Luft der Trommelhöhle oder Resorption derselben entstanden ist, wird begreiflicherweise die Operation der Anbohrung des Trommelfells oder des Zitzenfortsatzes der Trompete, von Nutzen für die Schwerhörigen seyn, im zweiten Fall hingegen wird sie nichts nützen. Hieraus erklärt sich zum Theil schon der so verschiedene Erfolg jener Operationen.

Der Antheil des Musculus tensor tympani an der Modification des Hörens lässt sich jetzt aus den aufgestellten Principien beurtheilen.

Darf man als sehr wahrscheinlich annehmen, dass der Musculus tensor tympani bei einem sehr starken Schall, ebenso durch Reflexbewegung in Thätigkeit tritt, wie die Iris und der Orbicularis palpebrarum bei einem sehr starken Lichteindruck, indem die Reizung von den Sinnesnerven zum Gehirn, vom Gehirn zu den motorischen Nerven verpflanzt wird, so ist einleuchtend, dass bei sehr starkem Schall durch Reflexbewegung dieses Muskels eine Dämpfung des Gehörs eintritt. Der starke Schall bewirkt schon durch Reflexion Nicken der Augenlieder und bei nervenreizbaren Personen

ein Zusammenfahren vieler Muskeln. Die genannte Annahme ist daher sehr wahrscheinlich *). Bei stärkerer Spannung des Trommelfells durch den Tensor tympani, aus was immer für einer Ursache, muss ferner die Fähigkeit zum Hören tiefer Töne mehr abnehmen, als für das Hören hoher Töne.

Hier kömmt nun zur Frage, ob der Musculus tensor tympani auch der Willkühr unterworfen sei. Nach meinen Beobachtungen verhält sich dieser Muskel, wie auch der Stapedius, mikroskopisch, wie alle animalischen Muskeln, er besitzt nämlich die regelmässigen Querstreifen seiner primitiven Bündel. Die sogenannten Laxatoren sind dagegen keine Muskeln. Im sogenannten Musculus mallei externus konnte ich keine Charactere der Muskeln erkennen, welche im Tensor tympani so deutlich sind, und er ist blosses Band. Aber die beiden wirklichen Muskeln der Gehörknöchelchen gehören ohne allen Zweifel dem animalischen System an. Zwar haben die Muskeln des Gefässsystems, Herz und Lymphherzen, auch Querstreifen, und dieser Character gehört ausser den animalischen Muskeln, die sich aus dem äussern Blatt der Keimhaut entwickeln, auch denjenigen an, welche sich aus der mittlern oder Gefässschicht der Keimhaut bilden. Aber die organischen Muskeln der Eingeweide sind constant ohne Querstreifen der primitiven Bündel der Fasern. Da ferner die kleinen Muskeln des äussern Ohrs willkührlich sind (ich bewege sie, namentlich den M. antitragicus, deutlich), so ist kein Grund vorhanden den Muskeln der Trommelhöhle eine gleiche Stellung abzusprechen. Dafür spricht auch der Ursprung des Nervus tensor tympani vom dritten Ast des Trigeminus, nämlich vom Nervus pterygoideus internus und der Ursprung des Nervus stapedius vom Nervus facialis.

Die willkührliche Bewegung des Musculus tensor tympani lehrte schon Fabricius ab Aquapendente. Fabricius behauptete durch willkührlichen Einfluss auf den Tensor tympani einwirken zu können, indem er willkührlich ein Geräusch im Ohr erregen konnte. Er konnte die Bewegung nur gleichzeitig in beiden Ohren zugleich verursachen. Mayer kannte einen Gelehrten, der die Bewegung seiner Gehörknöchelchen so sehr in seiner Gewalt hatte, dass man sogar das feine Geknirsche deutlich hören konnte, wenn man das Ohr dicht an das seine legte. Vergl. Lincke *Handbuch der Ohrenheilkunde. Leipz.* 1837. *I. p.* 472. Ich besitze denselben willkürlichen Einfluss in beiden Ohren, stärker auf das linke, kann den Einfluss auch auf das linke Ohr isoliren. Das Geräusch besteht in einem Knacken, wie das Knistern des electrischen Funkens, oder wie wenn man die klebrig gemachte Fingerspitze auf Papier drückt und dann plötzlich abzieht. Verstopft sich

*) Ein sehr starker Schall, wie der einer Kanone, wenn er in der Nähe derselben gehört wird, kann übrigens auch durch die Einbeugung des Trommelfells einen Eigen-Ton des Trommelfells hervorbringen. Diess glaube ich wenigstens an mir bemerkt zu haben. Ich empfand bei dem Schall der Kanone zugleich einen Ruck, ähnlich, wie man ihn hört, wenn man plötzlich bei zugehaltener Nasen- und Mundöffnung durch Inspiration das Trommelfell nach einwärts spannt.

Jemand die Ohren, und hält einen Stab an sein verstopftes Ohr und an das meinige, so hört er das Knacken. Er hört es auch, wenn er sein offenes Ohr an das meinige legt, und sogar in einiger Entfernung bis zu 1—2 Fuss. Einer hörte das Knacken in meinem Ohr ohne Stab bei offenen Ohren bis auf 3 Fuss Entfernung, wenn mein Ohr in der Direction des Hörenden stand. Bei jeder Bewegung, die ich im Ohr hervorbrachte, gab er den Erfolg an. Es ist nun der Beweis zu führen, dass dieses Geräusch wirklich durch die Zusammenziehung des Tensor tympani und seine Wirkung auf das Trommelfell hervorgebracht wird, indem er es nach innen zieht, was einem Stoss von aussen gleich ist. Dafür spricht schon der Umstand, dass wenn ich, bei zugehaltener Nase und Mund, Luft durch die Trompete treibe, ich ausser dem, von dem Andrang der Luft gegen das Trommelfell hörbaren Summen, auch zuweilen noch das mir so wohlbekannte Knacken in dem Momente höre, wo ich mit dem Druck nachlasse, wo also das Trommelfell wieder in seine Lage kömmt. Dieser Ton kann auch von einer zweiten Person gehört werden. Von besonderem Interesse wurde mir die Untersuchung der Mundhöhle, während ich das willkührliche Knacken im Ohr hervorbringe. Bei Untersuchung des Mundes und Rachens mit dem Spiegel sehe ich, dass ich zugleich die oberen Gaumenmuskeln bewege, indem sich der Gaumen jedesmal zugleich erhebt. Diess führt auf die Vermuthung, dass das Geräusch davon abhängt, dass durch Erhebung des Gaumens ein Luftstrom nach den Oeffnungen der Eustachischen Trompeten bewirkt wird. Indess wird diese Ansicht dadurch widerlegt, dass ich die stärkste Erhebung des Gaumens von dem Geräusch völlig isoliren kann. Singe ich z. B. bei weit vor dem Spiegel geöffnetem Mund, so sehe ich, dass bei hohen und selbst leisen Fisteltönen der Gaumen sich ganz hoch erhebt. Diess geschieht ohne das fragliche Geräusch in den Ohren. Während dieser Erhebung des Gaumensegels kann ich aber nach Willen das Geräusch in den Ohren hervorbringen. Hieraus widerlegte ich mir zugleich den Einwurf, dass wegen des Ursprungs der obern Gaumenmuskeln zugleich vom knorpeligen Theil der Eustachischen Trompete durch die Zusammenziehung dieser Muskeln und durch die Zerrung der Trompete ein Ton entstehe, welcher zum Gehörorgan geleitet werde. Diese Idee ist auch schon deswegen unstatthaft, weil die Bewegung nicht bloss von mir, sondern das Knacken auch von Andern auf mehrere Fuss Entfernung gehört wird. Die Bewegung scheint also eine willkührliche Zusammenziehung des Tensor tympani zu seyn.

Ausser dem Knacken bringe ich willkührlich auch noch einen zweiten Ton im Gehörorgan, und zwar auf beiden Seiten hervor. Er ist brummend und kann über eine Secunde und mehr angehalten werden. Er entsteht auch mit Erhebung des Gaumensegels, und scheint in der That von der Zusammenziehung der Gaumenmuskeln herzurühren. Dies Brummen tritt zuweilen beim Gähnen und Aufstossen ein, auch wenn dieses willkührlich hervorgebracht wird. Unter den Bewegungen, welche das Knacken als Mitbewegung hervorbringen, ist bei mir das Schlingen zu nennen;

aber das Knacken ist nicht immer nothwendig damit verbunden. Während ich den knackenden Ton hervorbringe, höre ich übrigens nicht merklich undeutlicher. Der davon wohl zu unterscheidende brummende Ton stört das Hören.

Ein unwillkührliches Zucken des Musculus tensor tympani muss auch ein Geräusch im Ohr hervorbringen. Mancher wird leicht solche Töne im Ohr vernommen haben. Vergl. Lincke a. a. O. p. 481.

Die Wirkung des Musculus stapedius beim Hören ist unbekannt. Er zieht den Steigbügel so, dass sein Fusstritt schief im ovalen Fenster steht, indem er auf der Seite des Zuges ein wenig tiefer in das Fenster eintritt, und ebenso viel auf der andern Seite heraustritt. Die einzige Wirkung, welche man ihm dem zufolge zuschreiben könnte, wäre meines Erachtens eine Spannung des Häutchens, welches den Fusstritt des Steigbügels mit dem Fenster verbindet.

c. Ovales und rundes Fenster.

Die Leitung durch zwei Fenster ist keine nothwendige Bedingung zum Gehör bei den in der Luft lebenden Thieren mit Trommelhöhle. Denn wie die vorher erzählten Versuche zeigen, lässt sich dem Wasser, sowohl durch eine gespannte Membran (Membrana tympani secundaria), als durch einen beweglichen festen Körper, der mit einer gespannten Membran verbunden ist, der Schall intensiv mittheilen. Auch die vergleichende Anatomie liefert diesen Beweis. Denn die Frösche haben bei einem sonst vollständigen Tympanum kein zweites oder rundes Fenster, sondern nur die Leitung durch die Kette der Gehörknöchelchen. In diesem Falle kommt die Luft der Trommelhöhle als Leiter kaum in Betracht, da sie an die festen Theile des Gehörorgans ihre Wellen nicht in einiger Stärke abzugeben vermag. Sie dient hauptsächlich zur Isolirung der Gehörknöchelchen und des Trommelfells.

Sind beide Fenster gleichzeitig mit einer Trommelhöhle vorhanden, so verursachen sie eine doppelte Leitung, durch feste Körper und durch Membran auf Wasser, welche beide intensiv sind, wie meine Versuche zeigen. Diese muss natürlich das Gehör verstärken. Denn nun kommen von zwei nebeneinander liegenden Stellen kreisförmige Wellen ins Labyrinthwasser, welche noch dazu durch Kreuzung stärkere Verdichtungen oder Wellenberge an den Kreuzungsstellen verursachen.

Es entsteht hier die Frage, welche Leitung stärker sei, diejenige vom Trommelfell durch die Gehörknöchelchen zum ovalen Fenster, oder diejenige vom Trommelfell durch die Luft der Trommelhöhle und die Membran des runden Fensters zum Labyrinthwasser.

Die Beantwortung dieser Frage bestand bisher meist in einem willkührlichen Stimmgeben. Einige läugneten die Leitung durch die Gehörknöchelchen, und beriefen sich auf das Hören nach Verlust der Gehörknöchelchen, wie es A. Cooper (*Phil. Transact.* 1801.

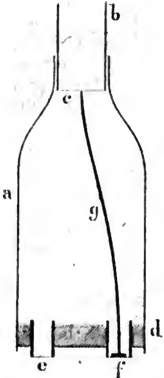
und schon früher CALDANI, CHESELDEN beobachtet. Andere läugneten die Leitung durch das runde Fenster, weil nach zahlreichen Erfahrungen auf Zerstörung und Verlust der Gehörknöchelchen das Gehör verloren gehe. Siehe HALLER *Elem. Physiol. V.* 285. Vergl. LINCKE a. a. O. 465. Ein ausschliessliches Anerkennen einer Art der Leitung würde unstatthaft seyn, denn jeder leitungsfähige Theil thut, was er nach physikalischen Gesetzen muss. Es kann sich daher nur um den quantitativen Unterschied handeln. Eine kritische Uebersicht der Meinungen und Gründe gab MUNCKE in KASTNER's *Archiv f. d. ges. Naturlehre.* 7. 1. Derselbe entscheidet sich zugleich für die stärkere Leitung durch die Gehörknöchelchen.

MUNCKE sagt: man denke sich, dass Jemand zwei gleich stark schlagende Taschenuhren in gleicher Entfernung vom Ohre, die eine durch einen knöchernen Stab damit verbunden, die andere in freier Luft schwebend halten wollte. Offenbar würde er die eine vollkommen, die andere gar nicht hören. Man dürfe nur den bekannten Versuch berücksichtigen, mit welcher Stärke man die Töne eines, an einem Faden hängenden und durch diesen mit dem Ohre verbundenen Löffels hört, welches durch die Luft geleitet, gar nicht wahrgenommen wird. Dieser Fall, welcher die stärkere Leitung durch die Gehörknöchelchen beweisen soll, hat aber keine vollkommene Aehnlichkeit mit dem, was bei der Fortpflanzung des Schalls durch die Trommelhöhle geschieht. Primäre Schallwellen fester Körper gehen allerdings mit der grössten Stärke unmittelbar auf einen festen Stab, der das feste Ohr berührt und so an dieses über, sehr schwach werden sie geleitet, wenn die Luft der Leiter primärer Schallwellen fester Körper ist. Nur ein primär in der Luft erzeugter Schall pflanzt sich viel stärker in der Luft, als aus der Luft auf einen festen Stab fort. Bei unserer Frage handelt es sich darum, ob Schallwellen, die in der Luft entstanden oder ihr mitgetheilt sind, und durch die Luft auf das Trommelfell gelangen, leichter von dem Trommelfell auf die Gehörknöchelchen oder auf die Luft der Trommel, und leichter von den Gehörknöchelchen auf das Labyrinthwasser, oder von der Luft der Trommel durch die Membrana tympani secundaria auf das Labyrinthwasser geleitet werden.

Diese Frage kann auch so ausgedrückt werden. Welche Leitung vermindert die Excursion der schwingenden Theile am wenigsten, die Leitung von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf einen begrenzten beweglichen festen Körper, von diesem auf Wasser, oder die Leitung von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf Luft, von dieser auf gespannte Membran, von dieser auf Wasser? Die Versuche, die ich darüber angestellt habe, beweisen sehr bestimmt als Thatsache:

V. Schwingungen, welche von der Luft auf eine gespannte Membran, von dieser auf frei bewegliche, begrenzte, feste Theile, von diesen auf Wasser verpflanzt werden, theilen sich sehr viel stärker dem Wasser mit, als Schwingungen, welche von der Luft auf dieselbe gespannte Membran, von dieser auf Luft, von dieser auf eine Membran und von dieser auf Wasser verpflanzt werden; oder auf die

Trommelhöhle angewandt, *dieselben Luftwellen wirken viel intensiver vom Trommelfell durch die Gehörknöchelchen und das ovale Fenster, als durch die Luft der Trommelhöhle und die Membran des runden Fensters, auf das Labyrinthwasser.*



Ich bildete den doppelten Leitungsapparat der Trommelhöhle in folgender Weise nach. Ein Glascylinder *a* von $2\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser und 6 Zoll Länge läuft an dem einen Ende in einen Hals aus, in dessen Mündung die hölzerne Röhre *b* von 8 Lin. Durchmesser Lumen luftdicht eingesetzt wird. Das äussere Ende *b* passt genau in das Ende der einfüssigen Messingpfeife. Das innere Ende der Röhre *b* ist mit einer gespannten Membran *c* (Schweinsblase) überzogen, welche das Trommelfell vorstellt, während *b* der Gehörgang ist. Der Glascylinder ist an seiner weitern Oeffnung mit einer dicken Korkplatte *d* geschlossen, sein Raum ist die Trommelhöhle. In zwei Löcher dieser Korkplatte, welche gleichweit vom Umfang des Cylinders entfernt sind, sind kurze hölzerne Röhrchen von 3—4 Linien Durchmesser des Lumens luftdicht eingesetzt. Beide Röhrchen sind am äussern Ende mit Membran geschlossen. Sie stellen die beiden Fenster vor. Nur die Membran des einen Röhrchens *f* ist mit der obern Membran am Anfang des Cylinders *c* durch ein Stäbchen *g* in Verbindung gesetzt. Dieses hölzerne Stäbchen, welches die Gehörknöchelchen vorstellt, berührt die obere das Trommelfell vorstellende Membran *c* nur in der Mitte, die untere Membran oder die des Röhrchens *f* aber im grössten Theil ihres Umfanges, indem das Stäbchen hier in eine Platte ausläuft, welche nur wenig kleiner ist, als die gespannte Membran des Röhrchens *f*. Das Stäbchen steht straff zwischen Trommelfell und der Membran des Röhrchens *e*, und hält beide etwas gespannt. So ist das Röhrchen *e* das runde Fenster mit der Membrana tympani secundaria, das Röhrchen *f* das ovale Fenster. Wird das untere Ende des Apparates in Wasser gehalten, auf das Rohr *b* die Pfeife aufgesetzt und geblasen, so ist die Leitung bis zum Wasser genau so, wie die doppelte Leitung der natürlichen Trommelhöhle zum Labyrinthwasser. Die Membran, welche das Trommelfell vorstellt, *c* erhält Wellen, welche sich aber sowohl durch den Stab *g* nach dem ovalen Fenster *f*, als durch die Luft der Trommel auf die Membran des runden Fensters *e* fortpflanzen, und zugleich ins Wasser übergehen. Lässt man an der Verbindungsstelle der grossen Korkplatte, worin die Fenster sind, mit dem Cylinder, zwischen dem Rand des Glascylinders und dem Kork eine Lücke, und hält das untere Ende des Apparates so ins Wasser, dass die Fenster das Wasser berühren, dass aber die letztgenannte Lücke in der Luft

ist, so steht die Luft im Cylinder zugleich, während der Leitung mit der äussern Luft in Communication. Dadurch kann man die Eustachische Trompete nachbilden. Der Erfolg ist aber ganz derselbe, wie wenn diese Communication nicht stattfindet.

Bei verstopften Ohren kann man nun mittelst eines in das Wasser und an das Ohr gehaltenen Conductors, während Jemand die Pfeife anbläst, die Stärke der Wellen, welche durch die beiden Fenster ins Wasser gelangen, durch sein eigenes Gehör prüfen. Die Verschiedenheit ist höchst auffallend. Die durch den Stab vom Trommelfell zum Wasser geleiteten Wellen sind ganz ausserordentlich viel stärker, als die von denselben Schwingungen des Trommelfells durch die Luft der Trommel, und die Membrana tympani secundaria zum Wasser geleiteten Wellen. Man vernimmt die starken Töne des ovalen Fensters bis in den Raum vor dem runden Fenster. Um daher den viel schwächern Antheil der Leitung des runden Fensters isolirt zu beobachten, ist es nöthig, den Stab aus dem Apparat herauszunehmen und das ovale Fenster, oder das Fenster des Stabs durch einen Stopfen ganz zu schliessen. Dann bemerkt man, dass die Leitung durch die Membran des runden Fensters wenig stärker ist, als durch die festen Theile der Korkplatte.

Ausser der Intensität können vielleicht die durch beide Fenster geleiteten Wellen desselben Tons auch in der Qualität, im Klang einigermassen verschieden seyn. Die Wellen, welche zum runden Fenster kommen, bleiben Luftwellen bis zu der Membran dieses Fensters. Die Wellen der Gehörknöchelchen sind Wellen fester Körper. Bekanntlich erhält aber ein und derselbe Ton ein anderes Timbre, je nachdem er von verschiedenen Körpern resonirt. Wie verschieden ist z. B. der Ton einer Stimmgabel, wenn man sie tönend frei über eine mit Luft gefüllte Schale, oder nahe den Wänden der Schale selbst hält. Wie verschieden klingt eine Glocke im Wasser, wenn man den Ton durch einen Stab aus dem Wasser, oder durch die Luft aus dem Wasser hört. Im ersten Fall ist er klangvoll, im letztern klanglos. Directe Versuche über jene qualitative Verschiedenheit sind schwer, da die Töne der beiden Fenster an jenem Apparat jedenfalls gleich stark seyn müssten, um ihren Klang sicher zu vergleichen. Die angestellten Versuche sind aber jener Hypothese eher günstig, als nachtheilig.

Die durch das ovale Fenster geleiteten Wellen wirken näher auf den Vorhof und die halbcirkelförmigen Canäle, die durch das runde Fenster geleiteten näher auf die Schnecke, aber auch die in den Vorhof gelangenden Wellen, welche sich kreisförmig ausbreiten, gelangen in die Schnecke, und überhaupt ist die Beziehung des runden Fensters zur Schnecke kein constantes Attribut dieses Fensters, da die Schildkröten das eine und andere Fenster, aber keine eigentliche Schnecke besitzen.

d. Tuba Eustachii.

Die Eustachische Trompete ist in allen Fällen vorhanden,

wo die Trommelhöhle da ist. Dass sie für die Integrität des Gehörs von grosser Wichtigkeit ist, beweisen die Krankheiten der Tuba; bei ihrer Verstopfung entsteht immer Schwerhörigkeit und Ohrenbrausen. Ob sie aber unmittelbar zur Schärfe und Intensität der Leitung nothwendig ist, oder ob ihre Verstopfung mittelbar zur Veränderung des Gehörs wirkt, lässt sich aus den pathologischen Beobachtungen nicht schliessen. Begreiflich könnte die Veränderung des Gehörs eben so gross von Verschliessung der Trompete seyn, wenn diese Röhre bloss bestimmt wäre, die grössere Spannung des Trommelfells durch Verdichtung und Verdünnung der Luft der Trommel, zu verhüten, oder wenn sie die Bestimmung hätte, den in der Trommelhöhle erzeugten Schleim durch ihre Wimperbewegung abzuführen. Anfüllung der Trommelhöhle mit Schleim muss alle Vortheile der Leitung dieses Apparates aufheben.

Die Zwecke, welche man der Trompete hypothetisch beilegen kann und beigelegt hat sind folgende, wir wollen sie nach einander untersuchen.

1) Einige glauben, wiewohl unrichtig, dass ein eingeschlossener Luftraum nicht zur Fortleitung der Schwingungen geeignet sei. Saunders (*anat. of the human ear*) sagt: die Luft der Trommelhöhle könne bei Verschliessung der Tuba nicht ausweichen, als durch Condensirung, und hebe die Schwingungen wieder auf. Muncke bemerkt mit Recht, dass diese Vorstellung den physicalischen Gesetzen widerspricht. In der That ist keinerlei Ausweichung zur Fortleitung des Stosses nöthig.

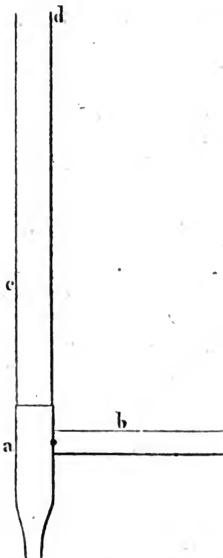
2) Noch eher könnte an das Gegentheil jener Ansicht nach physicalischen Principien gedacht werden. Denn sieht man von der Leitung durch die Gehörknöchelchen ab, und vergleicht man den Luftraum des Gehörganges und der Trommel der Luftsäule eines sogenannten Communicationsrohrs, worin die Schallwellen ungeschwächt zusammengehalten werden, so müsste hier, wie in einem Communicationsrohr, eine seitliche Oeffnung eine theilweise Ausbreitung der Wellen nach aussen bewirken, und bei einem zu heftigen Stoss diesen Eindruck, so weit er von der Luft auf das runde Fenster wirkt, dämpfen.

3) Andere sehen die ungleiche Dichtigkeit der Luft in und ausser der Trommelhöhle für ein Hinderniss des Gehörs an, wie Muncke a. a. O. 26. Auch diese Meinung kann ich nicht theilen. Die Fortleitung des Schalls durch ungleich dichte Luftschichten scheint wohl den Schall zu schwächen, aber sobald zwei gleiche Luftschichten durch einen festen Körper, wie das Trommelfell getrennt sind, so ist der dreifache Unterschied der Media schon vorhanden. Die Stosswelle geht aus der Luft an Membran, von Membran an Luft über, und es kömmt nicht in Betracht, in wie weit die innere Luft von der äussern verschieden sei, sondern in wie weit die innere Luft geeignet sei, die Welle aus der Substanz des Trommelfells aufzunehmen. Denn die innere Luft empfängt die Verdichtung nicht von der äussern, sondern vom Trommelfell.

4) Die Tuba ist bestimmt, das Mitklingen der Luft der Trommelhöhle zu hindern. Diese Ansicht ist wohl am wenigsten statt-

haft. Denn ein Luftraum resonirt, mag der Behälter an einem Ende oder an beiden Enden offen seyn. Die einfache Resonanz wäre eher ein Vortheil, als ein Nachtheil. Nur das Mitklingen eines Luftraums in seinem eigenen Tone wäre nachtheilig. In Hinsicht des Mitklingens der Lufträume ist zu bemerken, dass die Luft einer offenen Röhre als schwingende Säule der Hälfte einer doppelt so grossen Säule einer gedeckten Röhre zu vergleichen ist.

5) Sie ist bestimmt die Resonanz zu verstärken. Unter diesem Gesichtspunct lässt sich die Ansicht von Henle betrachten, welcher die Oeffnung der Trompete in die Trommelhöhle den Löchern im Resonanzboden vergleicht, welche zu einem klangvollen Ton der Geige so nothwendig sind. *Encyclop. Wörterb. d. med. Wissensch.* Gehör. Sie sind die Ursache, dass ausser dem Resonanzboden der Geige, auch die Luft ihres Kastens resonirt. So würde die Luft der Mundhöhle und Nasenhöhle für das Gehör resonirend werden, wenn auch die Töne durch den äussern Gehörgang zum Ohr kommen. Diese Art der Wirkung lässt sich im Allgemeinen nicht in Abrede stellen. Directe Versuche über die resonirende Wirkung von Seitenröhren, die auf eine kurze Hauptröhre angesetzt werden, und durch eine Oeffnung damit communiciren, sind dieser Idee auch günstig. Der Schall einer Stimmgabel, die über die Oeffnung einer kurzen Röhre (4 Zoll lang, 1 Zoll breit,) mit 2 Fuss langer Seitenröhre) gehalten wurde, schien mir stärker, als wenn der Ton der Gabel bloss von der Luft der kurzen Röhre mit kleiner Seitenöffnung resonirt wurde. Ist die Oeffnung sehr klein, so scheint kein Einfluss statt zu finden.



Auch direct lässt sich untersuchen, ob bei einer so engen Oeffnung, wie die Eustachische Trompete, der Einfluss nicht wieder grösstentheils aufgehoben wird. Auf folgende Weise lässt sich der Leitungsapparat der Trommelhöhle mit der Tuba roh nachbilden.

Eine hölzerne Röhre *a* von 8 Linien Durchmesser und 3 Zoll Länge, ist an dem einen Ende mit Membran überzogen, am andern Ende verengt sie sich, so dass sie tief in den Gehörgang eingeschoben werden kann. An der Seite der Röhre, welche die Trommelhöhle vorstellt, ist eine sehr kleine Oeffnung, an dieser Stelle kann das Seitenrohr *b* angesetzt werden. Das Rohr *c* dient als äusserer Gehörgang, in dasselbe kann *a* fest und schliessend eingesetzt wer-

den. Als Ton kann jedoch kein frei in der Luft entwickelter Schall benutzt werden, weil dieser sowohl durch das Rohr *b* als *c*, und wenn das Seitenrohr *b* weggenommen ist, durch die kleine Oeffnung in die Trommel *a* eindringen würde. Der Schall muss daher in dem Rohr *c* auf eine Weise erregt werden, dass er ausser dem Rohr *c* sich wenig ausbreitet. Hierzu fand ich am zweckmässigsten, dass eine Person die Lippen dicht an die Mündung des Rohrs *d* ansetzt, und bei zugleich zugehaltener Nase die Zähne der Ober- und Unterkinnlade auf einander schlagen lässt, während der Schall von den Zähnen sich der Luft des Rohrs mittheilen kann. Dann verbreitet sich der Schall wenig in den Wänden des Rohrs, wegen der weichen Theile der Lippen, aber durch die Luft des Rohrs *c* zur Membran und in die Luft der Trommel. Habe ich nun die Trommel mit dem engen Theil des Rohrs in mein Ohr fest eingesetzt, so vergleiche ich die Stärke des Schalls bei zugehaltener Seitenöffnung der Trommel, bei offener Seitenöffnung und bei eingesetztem Seitenrohr *b*. Ist die Seitenöffnung, welche die Tubamündung vorstellt, durch den Finger verschlossen, so ist der Schall der Zähne dumpfer, als wenn sie offen ist, aber die Stärke ist wenig oder gar nicht verschieden, viel geringer ist der Unterschied des Tons, wenn entweder das Seitenrohr *c* angesetzt wird, oder ohne das Rohr die einfache Oeffnung offen bleibt. Der Klang des Tons ist nämlich in beiden Fällen derselbe und es ist auch kein merklicher Unterschied der Stärke zu bemerken, wenigstens kein sicherer. Bei einer nur engen Oeffnung zwischen der Trommel und dem resonirenden Luftraum *b* verliert dieser daher ganz oder fast ganz seine Bedeutung, für einen Schall, der nicht direct auf ihn einwirken kann.

6) Die Tuba ist bestimmt die Leitung durch den Trommelhöhlenapparat von einem Hinderniss zu befreien, das eine ganz eingeschlossene Luft darbietet, indem entweder die Leitung des Trommelfells selbst in diesem Fall zu schwach, oder die Resonanz des Trommelfells und der Luft der Trommelhöhle zu gering ist. Diese Ansicht ist die gewöhnlichste von der Eustachischen Trompete. Itard erläuterte sie durch die Soldatentrommel, welche ohne Seitenloch in ihrer Wand nur einen dumpfen und gedämpften Ton habe. Dieses Beispiel kann nun freilich wenig aufklären, es hat gar keine Aehnlichkeit mit dem Verhältnissen, von welchen die Rede ist. Denn wenn eine Soldatentrommel einen stärkern Klang hat bei offenen Seitenloch, so ist es, weil jetzt die Luftschwingungen im Innern der Trommel nicht mehr bloss durch die Wände der Trommel und die Felle durchgehen, sondern durch den besten Leiter für Luftschwingungen die Luft selbst an die Atmosphäre und zum Ohr übergehen. Ueberdiess finde ich dazu den Unterschied äussert gering, wie es scheint kaum einigen Unterschied des Klanges, wenn das Loch einer kleinen Trommel offen ist oder geschlossen wird. An eine Vermehrung der Stärke des Tons durch diejenigen Wellen, welche durch die Luft des Mundes und der Trompete in die Trommelhöhle gelangen, lässt sich übrigens nicht denken. Denn der Gesunde hört bei geschlossener Mund- und Nasenöffnung eben so gut, als wenn sie offen sind.

Ich stellte mehrere Versuche über den als Thesis hingestellten Satz auf, welche ihm nicht eben günstig sind. Wurde eine vorn mit Membran geschlossene kurze Röhre, wie das blosse Stück *a* der vorigen Figur in das Ohr tief und fest eingesetzt, das zweite Ohr durch einen Stopfen von gekautem Papier ganz verstopft, so konnte ein an der Membran selbst erregter Schall ungeschwächt sich durch die Röhre fortpflanzen. Ein in der freien Luft erregter Schall konnte natürlich nicht benutzt werden. Denn dieser, wie der Ton einer Pfeife kann sich durch die Luft vermittelst der Seitenöffnung stärker der innern Luft der Röhre mittheilen, als durch die Membran. Erregt man nun durch einen Schlag mit dem Finger auf die Membran oder durch Reiben mit dem Finger an derselben einen Ton, so ist er jedesmal dumpf, wenn die Seitenöffnung mit dem Finger geschlossen wird, klarer und gleichsam schärfer, wenn die Oeffnung offen ist. Aber in der Stärke des Schalls konnte ich keinen deutlichen Unterschied bemerken; wenn die Membran nass war, so schien mir sogar der dumpfe Ton noch stärker bei geschlossener Seitenöffnung, als der klare bei geöffneter. Einen im Allgemeinen ganz ähnlichen Erfolg beobachtet man mit dem in der vorigen Figur erläuterten Apparat. Setzt Jemand die Lippen auf die Mündung des Rohrs *d*, und stösst die Zähne aufeinander, bei zugleich zugehaltener Nase, so hört man den Ton durch die Luft der Röhre und die Membran zwischen *c* und *a* sehr deutlich, wenn man *a* fest in sein eigenes Ohr steckt. Das Rohr *b* wird weggenommen. Der Ton ist dumpfer bei geschlossener, klarer bei offener Seitenöffnung. Aber ein merklicher Unterschied der Stärke ist nicht vorhanden.

Daher kann man wohl zugestehen, dass vielleicht eine gewisse Dumpfheit des Klanges von der Resonanz des Trommelhöhlenapparates durch die Tuba vermieden wird, aber die Verstärkung des Tons in der Weise, wie es in der Thesis ausgesprochen ist, kann man nicht zugeben.

Auch einige andere Versuche über das Hören mit oder ohne Verschliessung der Trompete stimmen damit überein. Ohnstreitig würde es das sicherste Mittel seyn, den Einfluss der Trompete kennen zu lernen, wenn man sich künstlich die Trompete so verstopfen lassen könnte, dass durch den Mechanismus nicht zugleich die Luft der Trommelhöhle verdichtet, und dadurch das Trommelfell gespannt würde. Aber diess ist nicht gut möglich, überdiess würde es immer eine Glaubenssache für den Experimentator seyn, wenn er sich die Tuba catheterisiren lässt, ob die Tuba wirklich durch die Sonde verstopft sey oder nicht. Man kann daher diese Idee, als der Physiologie wenig förderlich, sogleich aufgeben. Auch die pathologischen Beobachtungen geben keine Schlüsse zur Lösung des Problems an die Hand. Cheselden beobachtete nach Einspritzen von Wasser in die Tuba plötzliche Taubheit. Saunders hingegen beobachtete bei Schwerhörigen Verbesserung des Gehörs nach dieser Operation, die so lange dauerte, als die eingespritzte Flüssigkeit im Ohr behalten wurde. Dieser entgegengesetzte Erfolg scheint von etwas ganz Anderm als von blosser

Eröffnung oder Schliessung der Tuba herzurühren. Es kömmt hier vielmehr die Spannung des Trommelfells in Betracht, welche durch die Operation herbeigeführt wird oder wenn es vorher durch Rarefaction der Luft zu sehr nach innen gespannt war, die verminderte Spannung durch die vermöge der Injection bewirkte Compression der Luft der Trommelhöhle: Dagegen hat man ein anderes Mittel, sich die Tuba zu verstopfen und auch wieder weiter zu machen, bei gleicher, freilich starker Spannung des Trommelfells, nämlich das erste leistet das im vorigen §. beschriebene Verdünnen der Luft der Trommel durch starke Inspirationsbewegung bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung. Hierbei legen sich die Wände der Tuba an einander, diess erkennt man daran, dass die eingezogene, fühlbar gespannte Stellung des Trommelfells bleibt, bis man sie durch den beschriebenen Mechanismus aufhebt. Ferner kann man die Tuba weiter als gewöhnlich machen durch die Exspirationsbewegung bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung. Auch in diesem Fall wird das Trommelfell gespannt. Die Verhältnisse bleiben sich also (ausser der Dichtigkeit der Luft) ziemlich gleich. In beiden Fällen ist das Trommelfell gespannt, aber in dem einen die Tuba weit, in dem andern geschlossen. Nun hört man aber gleich schlecht in beiden Fällen.

7) Sie ist bestimmt zum Hören der Stimme. Diese Thesis scheint schon hinlänglich durch ältere Erfahrung, namentlich Schellhammer's Versuch widerlegt. Er brachte eine tönende Stimmgabel ins Innere des Mundes und sie ward nun fast gar nicht gehört. Vor dem mässig geöffneten Mund tönt sie sehr stark, wegen der Resonanz der Luft der Mundhöhle, wie eine über die Oeffnung einer Flasche gehaltene tönende Stimmgabel. Der resonirende Ton wird aber auch grossentheils durch die Leitung des äussern Ohrs zum Tympanum gebracht. Eine Uhr wird, im Mund frei und ohne Berührung der Zähne und Zunge gehalten, nicht leicht gehört. Volle Beweiskraft hat allerdings der Schellhammer'sche Versuch nicht. Denn der Ton der Stimmgabel wird, als von einem festen Körper kommend, schwer an die Luft abgegeben, beim Ton der Stimme erregen aber die primitiv tönenden Stimmbänder regelmässige Mitschwingungen der Luft, wie an jedem Zungenwerk. Man kann sich indess auch auf andere Weise überzeugen, dass der Einfluss der Tuba auf das Hören der Stimme äusserst gering ist. Man hat es, wie vorher beschrieben worden, durch die Respirationsbewegungen in seiner Gewalt, die Tuba zu schliessen und zu öffnen. Beim Ausziehen der Luft aus der Trommel oder bei der Verdünnung derselben mittelst Inspiration bei zugehaltener Mund- und Nasenöffnung schliesst sich die Tuba für einige Zeit, bei der Verdichtung der Luft der Trommel durch Exspiration bei verschlossenen Luftwegen wird sie noch weiter als gewöhnlich. Es kömmt also nur darauf an, bei verschlossener Mund- und Nasenöffnung in dem einen und andern Fall einen Stimmton hervorzubringen, was wenigstens als kurzes Gesumme nicht unmöglich ist. Man hört es in dem einen und andern Fall sehr deutlich und es ist wenig

Unterschied, es klingt bei erweiterter Trompete nur ein klein wenig stärker als im geschlossenen Zustande derselben. Unsere Stimme hören wir also sicher nicht vorzugsweise durch die Tuba; wir hören sie zum Theil durch den äussern Gehörgang. Vom Mund aus breiten sich kreisförmige Schallwellen aus, die hinteren Stücke dieser Kreise stossen auf die Concha und werden gegen den Tragus, von diesem in den Gehörgang reflectirt. Gerade für die günstige Reflexion der aus dem Mund ausgehenden Schallwellen hat die Concha des äussern Ohrs meines Erachtens die geeignetste Stellung. Dann aber wird unsere Stimme gehört durch die Schallleitung von der Luft an die Nasen- und Mundwände und sofort an die Kopfknochen und noch unmittelbarer durch eine blosse Kette fester Theile bis zum Labyrinth, nämlich von den Stimmbändern an durch die weichen und festen Theile des Halses und Kopfes. Wie wirksam diese Art der Leitung seyn muss, ergiebt sich aus der Hörbarkeit des ganz von festen Theilen unseres Körpers eingeschlossenen Geräusches, der Borborygmi im Darm und dergleichen. Noch besser bringt man sich das Hören unserer eigenen Stimme durch Leitung fester Theile zur Anschauung, wenn man bei verstopften Ohren einen Stab an sein eigenes Ohr, und auf den Kehlkopf eines sprechenden Menschen legt. Man hört dann die Stimme des Andern unter denselben Umständen, wie man seine eigene hört. Bei pathologischer Verschliessung der Tuba tritt zwar Schwerhörigkeit für äussere Töne ein, allein die eigene Stimme wird nicht schlecht gehört, wie Autenrieth und Lincké beobachteten. Autenrieth in Reil's *Archiv.* 9. 321. Lincke a. a. O. 502.

8) Die Tuba ist bestimmt, den Schleim der Trommelhöhle durch ihre Wimper-Bewegung auszuführen. Hieran lässt sich nicht zweifeln und es lässt sich auch die Schwerhörigkeit nach Verschliessung der Trompete zum Theil aus dem Anfüllen der Trommelhöhle mit Schleim erklären. Indess wird dies nicht der einzige Zweck der Trompete seyn.

9) Sie ist bestimmt, die Luft der Trommelhöhle mit der äussern Luft ins Gleichgewicht zu setzen und namentlich eine durch einseitig verdichtete oder verdünnte Luft entstehende, grössere Spannung des Trommelfells und die daraus erfolgende Schwerhörigkeit zu vermeiden. Diess halte ich für den Hauptzweck der Tuba als einer allgemeinen mit der Trommelhöhle und dem Trommelfell gleichzeitigen Erscheinung. Nicht die einseitige Verdichtung der Luft oder die Verdünnung der Luft kommt hierbei vorzüglich in Betracht (der Erfolg ist in beiden Fällen gleich), sondern die dadurch nothwendig herbeigeführte Spannung des Trommelfells, welche jedesmal Schwerhörigkeit verursacht. Und so ist auch wohl in vielen Fällen der Schwerhörigkeit von chronischer Verschliessung der Tuba durch irgend eine Krankheit der Nutzen des Catheterismus und sein Zusammentreffen mit der Perforation des Trommelfells und des Zitzenfortsatzes zu betrachten. Dabei läugne ich nicht die andern schon gewürdigten Vortheile und lege vielmehr zunächst noch den meisten Werth auf die erwähnte Mo-

dification des Klanges durch die Tuba, der dadurch von seiner dumpfen Resonanz befreit wird, auf die Versorgung der Trommel mit Luft, und ihre Erhaltung und die Ausführung der Secreta der Trommelhöhle.

Bei Menschen deren Tuba hinlänglich weit ist, muss sich das veränderte Gleichgewicht der Luft unmerklich herstellen, wenn die äussere Luft schnell an Dichtigkeit zunimmt; dass es aber in anderen Fällen nicht unmerklich geschieht, und vielmehr eine Zeitlang eine Störung des Gleichgewichtes eintreten kann, dafür kann man schon die Erfahrungen in der Taucherglocke anführen. Carus bemerkte beim Besteigen hoher Berge eine Spannung im Ohr, und nach einer gewissen zurückgelegten Höhe ein Knacken im Ohr, was sich ohngefähr auf 600 Fuss Höhenunterschied wiederholte. Carus in *Bericht über die Versammlung der Naturforscher in Jena.* In wie weit diess bei Andern sich in dieser Art wiederfindet, hängt natürlich zum Theil von individuellen Verhältnissen ab. Ich erinnere mich eigener Erfahrungen in diesem Puncte nicht. Ich würde übrigens das gestörte Gleichgewicht, ehe es zu einem Maximum käme, auf die schon beschriebene Weise durch willkührliche Action des Tensor tympani beseitigen, was bei mir auch ein Knacken hervorbringt.

Muncke nimmt an, dass die Membrana tympani secundaria des runden Fensters bei einem zu heftigen Stoss auf das Labyrinthwasser dazu diene, durch ihr Ausweichen den Eindruck zu dämpfen. Eine Ableitung des Schalls ist allerdings in einem Luftcanal oder Communicationsrohr möglich, wenn die Wände des Rohrs, welche die Wellen wegen der schwierigen Mittheilung zusammenhalten, eine Oeffnung haben, aber die Stosswellen des Wassers gehen sehr leicht an feste Körper über.

Aeusserer Gehörgang.

Der äussere Gehörgang ist bei der Schallleitung in dreifacher Hinsicht wichtig, erstens indem er die aus der Luft einfallenden Schallwellen durch seine Luft unmittelbar auf das Trommelfell leitet, und die Schallwellen zusammenhält, zweitens indem seine Wände die dem äussern Ohre selbst mitgetheilten Wellen auf dem nächsten Wege auf die Befestigungsorte des Trommelfells und so auf dieses selbst leiten, drittens insofern die im Gehörgang enthaltene begrenzte Luftmasse der Resonanz fähig ist.

Als Luftleiter empfängt er die directen Luftwellen, welche die stärkste Wirkung hervorbringen müssen, wenn sie in der Achse des Gehörganges einfallen. Fallen sie schief in den Gang ein, so werden sie durch Reflexion dem Trommelfell zugeleitet. Auf diese Weise erhält der Gehörgang auch durch Reflexion die gegen die Concha des äussern Ohrknorpels stossenden Wellen, wenn ihr Reflexionswinkel geeignet ist, sie gegen den Tragus zu werfen. Schallwellen der Luft, welche weder unmittelbar, noch durch Reflexion in den äussern Gehörgang gelangen, können noch zum Theil durch Beugung in ihn eintreten, z. B. Luftwellen, welche

die Richtung der Längsache des Kopfes haben und an dem Ohre vorbeigehen, müssen nach den Gesetzen der Beugung an den Rändern des äussern Gehörganges in diesen umbiegen. Am stärksten werden indess jedenfalls die directen, weder reflectirten noch gebeugten Wellen seyn. Hierdurch vermag man die Direction des Schalles wahrzunehmen, wenn man den äussern Gehörgang in verschiedene Directionen bringt.

Als feste Leiter kommen ferner die Wände des äussern Gehörganges in Betracht. Denn diejenigen Wellen, welche sich dem äussern Ohrknorpel einmal mitgetheilt, ohne reflectirt zu seyn, gelangen auf dem kürzesten Wege durch die Wände des Gehörganges zum Trommelfell. Bei fest verstopften Ohren ist der Ton einer Pfeife stärker, wenn ihr mit Membran geschlossenes Ende auf den Ohrknorpel selbst aufgesetzt wird, als wenn sie die Oberfläche des Kopfes berührt.

Endlich ist auch der begrenzte Luftraum des Gehörganges als Resonator wichtig. Jeder begrenzte Luftraum resonirt. Man braucht die Röhre des äussern Gehörganges nur durch eine angesetzte andere Röhre zu verlängern, um sich von diesem Einfluss zu überzeugen. Jeder Ton, auch der Ton der eigenen Stimme wird dann viel stärker gehört. Werden längere Röhren angesetzt, so klingt die Luftsäule sogar nach Massgabe ihrer Länge in ihrem eigenen Tone mit, wie die Brüder Weber zeigten. Bei kleinen Luftsäulen hört diess Mitklingen auf, und sie bewirken blosse Verstärkung durch Resonanz.

Aeusserer Ohrknorpel.

Der äussere Ohrknorpel ist theils Reflector, theils Condensator und Leiter der Schallwellen. Als Reflector kömmt vorzüglich die Concha in Betracht, indem sie die Schallwellen der Luft gegen den Tragus wirft, von wo sie in den Gehörgang gelangen. Die übrigen Unebenheiten des Ohrs sind der Reflexion nicht günstig. Siehe Esser in Kastner's *Archiv* 12. Man könnte sie aber nur dann für zwecklos halten, wenn man den Ohrknorpel als Selbstleiter von Schallwellen ausser Acht liesse. Er empfängt Stösse der Luft und wirft sie als fester Körper theils wieder ab, theils leitet und condensirt er sie, wie es jeder andere feste und elastische Körper thun würde, wie Savart mit Recht hervorhebt. Er nimmt die Schallwellen in grosser Breite auf, und leitet sie auf seine Insertionsstelle. Das Fortschreiten des Stosses im Ohrknorpel kann man sich zufolge Savart's Untersuchungen über die Fortleitung des Stosses in Körpern mit verschiedentlich gestellten Zweigen, die ich oben auf die Fortleitung des Stosses in den Gehörknöchelchen anwandte, deutlich machen. Die dem Ohrknorpel mitgetheilte Stosswelle wird nicht dessen Biegungen folgen, sondern indem sie ihn in der ursprünglichen Richtung durchsetzt, werden die angrenzenden noch so verschiedenartig gestellten Theile des Ohrknorpels durchaus in derselben

Richtung vom Stosse fortgerissen. Diess geschieht von Theilchen zu Theilchen bis ins Innere des Ohrs, zum Trommelfell und den Kopfknochen. Wegen des Zusammenhanges der Wände des Gehörganges mit den festen Theilen des ganzen Kopfes, findet zwar Zerstreuung statt, aber die Befestigungsstellen des Trommelfells empfangen die Wellen auf dem kürzesten Wege, und theilen sie dem Trommelfell so gewiss mit, als die Wand einer Trommel einem Trommelfell, und der Steg einer Saite dieser selbst.

Fasst man nun aber den Ohrknorpel als Selbstleiter auf, so werden alle seine Unebenheiten, Erhabenheiten und Vertiefungen, welche in Beziehung auf Reflexion zwecklos sind, zweckmässig. Denn diejenigen Erhabenheiten und Vertiefungen, auf welche gerade die Schallwellen senkrecht sind, werden diese auch am stärksten aufnehmen. Die Unebenheiten sind aber so mannigfaltig, dass die Schallwellen, mögen sie kommen von wo sie wollen, auf die Tangente einer dieser Erhabenheiten senkrecht seyn werden. Auf diese Weise lässt sich der Zweck der wunderlichen Bildung des äussern Ohrs einsehen.

Das äussere Ohr der Thiere gleicht ganz einem willkührlich zu dirigirenden Hörrohr, in dem die Luftwellen in der Luft condensirt fortgehen, und dessen Wände zugleich Selbstleiter sind. Zugleich verlängert dasselbe die resonirende Luftsäule des äussern Gehörganges, wie ein Hörrohr *).

Resonirende feste Körper und Luft in der Umgegend des Labyrinthes.

Jeder begrenzte feste Körper und jede begrenzte Luftmasse ist in der Nähe des Labyrinthes ein Resonator. Unter diesem Gesichtspunct müssen nicht bloss die Kopfknochen, sondern alle in der Nähe des Gehörorganes liegenden Knorpel, Membranen, betrachtet werden.

Durch das Resoniren begrenzter Luftmassen wird unsere Stimme nicht bloss für andere, sondern auch für uns vernehmlicher. Jeder begrenzte Luftraum resonirt, wenn ein Ton angegeben wird. Wird die tönende Stimmgabel über die Oeffnung eines Medicinglases gehalten, so resonirt die darin enthaltene Luft sehr stark, während die Resonanz viel geringer ist, wenn die Gabel in die Nähe der Wände des Glases gehalten wird. Die Luft einer Röhre resonirt stark, mag sie an einem oder an beiden Enden offen seyn. Hält man die tönende Stimmgabel dicht vor den Mund, so ist die Resonanz ausserordentlich stark, und man hört sie sowohl selbst, als sie ein anderer hört **).

---

*) Man übersieht häufig, sowohl beim Hörrohr als Sprachrohr, die grosse Verstärkung des Schalls, durch die begrenzte, resonirende Luftsäule des Rohrs.

**) Die Resonanz klingt als u, wenn die Mundöffnung klein ist, als a, wenn sie grösser ist. Auch ist der Ton einer Stimmgabel, die über eine gleich weite, auf den Tisch aufgesetzte Röhre von 8 Lin. Durchmesser und 3½ Zoll Länge gehalten wird, wie u, wenn man die Oeffnung

Hält man dagegen die tönende Gabel tief in den weit offenen Mund hinein, so ist ihr Ton ausserordentlich schwach, sowohl für uns selbst, als für andere. Hiermit scheint in Verbindung zu stehen, dass Schwerhörige den Mund öffnen. Das Mithören durch die Eustachische Trompete kann hierbei gar nicht in Betracht kommen, da eben eine Stimmgabel in der Tiefe des Rachens so schwach gehört wird. Indess kann das Offenhalten des Mundes zum Hören bei Schwerhörigen noch mehr darin seinen Zweck haben, dass der knorpelige Theil des äussern Gehörganges beim Oeffnen des Mundes weiter wird, wie bereits Elliot bemerkt.

Jedenfalls hängt das starke Hören, wenn man sich durch eine Röhre an den Mund oder an die Nase sprechen lässt, zum Theil von der Resonanz der Lufthöhlen ab.

Auch die Luft des äussern Gehörgangs und der Trommelhöhle ist ein Resonator. Man bemerkt diess schon, wenn man den Gehörgang dadurch verlängert, dass man eine Röhre in den Meatus auditorius setzt. Nicht bloss hört man ein Rauschen von der Blutbewegung im Ohr, und den kleinen auch bei scheinbarer Ruhe in der Luft vorhandenen Bewegungen, welche ohne gerade nothwendig Schallwellen zu seyn, die Luft der Röhre, wie die einer Pfeife durch Blasen, zum Tönen bringen; sondern jeder Ton, sowohl der eigenen Stimme, als äusserer Körper ist mit einer schallenden Resonanz begleitet. So wie man das Factum bei Verlängerung des Gehörganges durch eine Röhre wahrnimmt, so bemerkt man es auch, bei Verkürzung der Luftsäule des Gehörganges durch einen tief eingesetzten Stopfen. Denn dann werden nicht bloss alle Töne äusserer Körper schwach gehört, wegen unterbrochener Luftleitung, sondern man hört eben so schwach den Ton der eigenen Stimme. Die Erklärung, dass nun keine Schallwellen aus dem Munde in den Gehörgang fallen, reicht nicht hin. Allerdings fallen die kreisförmigen Schallwellen von unserer Stimme, die sich von der Mundöffnung aus nach allen Richtungen verbreiten, bei offenem Gehörgang einigermassen durch Reflexion von der Concha des äussern Gehörganges und durch Beugung in diesen Gang. Man kann aber diesen Einfluss ganz neutralisiren, und die Stimme bleibt doch stark, wenn der ganze Gehörgang noch Luft enthält. Hält man sich die flachen Hände dicht vor beide Ohren, so dass keine Luftwellen unserer Stimme mehr in diese einfallen können, so hört man die eigene Stimme noch sehr stark. Denn hier ist noch die ganze resonirende Luftsäule des äussern Gehörganges vorhanden. Stopft man sich aber einen grossen Theil des Ganges durch den kleinen Finger oder einen Stopfen gekauten Papiers zu, so hört man die eigene Stimme nur sehr schwach. Die aufgehobene Resonanz der Luft des Gehörganges ist also zum Theil die Ursache, dass die eigne Stimme bei verstopften Ohren so schwach gehört wird.

---

durch die Hand verengt, mehr dem a ähnlich, wenn man die ganze Oeffnung der Röhre zulässt.

Leitung durch die Trommelhöhle und Leitung durch die Kopfknochen.

Die Schallleitung durch die Trommelhöhle theilt dem Labyrinthe einseitige Stösse durch die Fenster mit, von wo aus dann die Wellen sich im Labyrinthwasser verbreiten.

Die Leitung durch die Kopfknochen zum Labyrinth, welche bei den Knochenfischen die einzige ist, führt dem Labyrinthe von jeder Seite aus gleich leicht Schallwellen zu. Diese allseitige Zuleitung kömmt auch bei den Luftthieren vor, kann aber nur sehr schwach in der Luft seyn, weil die Mittheilung der Luftwellen an die festen Theile des Kopfes so schwer ist. Wir haben keine Gelegenheit, zu empfinden, wie stark die alleinige Leitung der Luftwellen durch die Kopfknochen seyn würde. Denn wenn wir auch die Ohren fest verstopfen, so leitet das Ohr die Luftwellen immer noch stärker, als die Kopfknochen, und die begrenzten Gehörknöchelchen machen einen stärkern Eindruck auf das Labyrinth, als die nicht isolirten Kopfknochen. Diese Verstärkung der Leitung durch die Gehörknöchelchen kann auch dann eintreten, wenn die Luftwellen zuerst den Kopfknochen zugeführt werden. Denn dann werden sie auch zum Trommelfell und zu den Gehörknöchelchen mittelbar zugeleitet, und der Trommelhöhlenapparat resonirt. So ist es auch bei den von unserer eigenen Stimme den Mund-, Rachen- und Nasentheilen mitgetheilten Wellen. Sie bewirken auch eine Resonanz des Trommelhöhlenapparates. Diess gilt aber auch von den Wellen, welche von festen Theilen den Kopfknochen mitgetheilt werden. Auch hier wirkt immer jene Resonanz mit. Setzt man eine tönende Stimmgabel bei verstopften Ohren auf den Scheitel, so ist der Ton am schwächsten, stärker ist er, wenn sie auf die Schläfe aufgesetzt wird, je näher sie dem Gehörgang steht, um so stärker wird der Ton, und der Ton nimmt nicht bloss in dem Verhältniss zu, je näher der tönende Körper dem Labyrinth ist, sondern zugleich, je näher die schallleitenden Theile des Kopfes der äussern Ohröffnung sind.

Die blosse Leitung von Luftwellen durch die Kopfknochen könnte nur Jemand hören, bei dem der Trommelhöhlenapparat gar nicht vorhanden, und der äussere Gehörgang geschlossen wäre. Wahrscheinlich würden in diesem Falle Luftwellen gar nicht, oder äusserst schwach gehört werden. Dagegen das Hören von Stössen fester Körper, die durch feste Körper auf die Kopfknochen geleitet werden, bei unversehrtem Labyrinth noch stattfinden muss. Dieses Mittels kann man sich bei Tauben, welche Luftwellen nicht hören, bedienen, um zu ermitteln, ob ihr Labyrinth und ihr Gehörnerve noch in Integrität sind.

Ein Tauber, der keine Wellen aus der Luft zu hören vermag, hört zuweilen doch das starke Klopfen auf den Boden, welches ihm durch die festen Theile des Körpers zugeleitet wird. Doch ist hiebei schwer zu unterscheiden, was der Empfindung

der Bebung durch das Gefühl und was dem Gehör angehört. Alle tiefen Töne wirken leicht auf die Gefühlsnerven und man empfindet die Bebungen als Gefühl, wenn man während des Sprechens an die Brust die Hand legt, oder einen tönenden festen Körper mit der Hand hält. Die im Wasser durch die Pfeife erregten Schallwellen fühlt man durch das Gefühl nicht, wenn man die Hand ins Wasser hält, wohl aber, wenn man mit der Hand einen festen Körper in das Wasser taucht. Diese Gefühlsempfindungen von Schwingungen haben zu der falschen Vorstellung Veranlassung gegeben, dass man durch andere Nerven als den Gehörnerven auch hören könne.

Hören der Schallwellen verschiedener Medien.

I. Unmittelbare Schallleitung der Luft zum Gehörorgan.

Wir hören am häufigsten durch Wellen der Luft, mögen sie primär in der Luft erzeugt seyn, oder in andern Körpern erzeugt durch die Luft zu unserm Ohr gelangen. Sind die Wellen zuerst in der Luft erzeugt, so gelangen sie viel stärker zum Gehörorgan, als wenn sie von andern Körpern erzeugt, der Luft mitgetheilt werden. Denn im letzten Fall findet eine Verminderung der Stärke bei der Mittheilung an die Luft statt. Saiten und Stimmgabeln tönen darum so schwach ohne Resonanzboden, der mit dem tönenden festen Körper durch Steg oder anderweitig in Verbindung stehen muss. Der Resonanzboden ist hingegen bei den Blaseinstrumenten ganz unnöthig, da die primär erzeugten Luftwellen am stärksten durch die Luft selbst fortgepflanzt werden. Ein wirksamer Resonanzboden für primäre Luftwellen könnte nur die Luft selbst in einem begrenzten Raume seyn. Ein fester Resonanzboden würde wenig zur Verstärkung des Tons beitragen, da bei der Mittheilung der Schallwellen aus der Luft an feste Körper und von diesen an die Luft eine Verminderung der Stärke der Stösse stattfindet.

So wie die Schallwellen fester Körper sich schwierig der Luft mittheilen, ebenso gehen auch die Schallwellen des Wassers schwer an die Luft über. Befindet sich das Ohr in der Luft, so wird ein im Wasser erzeugter Schall immer sehr schwach von uns vernommen, und bei einem sehr schiefen Winkel der Direction der Schallwellen gegen die Wasser- und Luftfläche gar nicht, wie diess auch beim Licht der Fall ist. Diese Schwierigkeit erfuhr auch Colladon bei seinen Versuchen über die Schnelligkeit der Fortpflanzung des Schalls im Wasser. Eine ins Wasser und ans Ohr gehaltene Röhre leistete fast gar keinen Dienst, wenn nicht am untern Ende der Röhre eine die Schallwellen des Wassers aufnehmende feste Platte war. Um den Schall des Wassers, wenn man in der Luft ist, stark zu hören, muss man aber die Schallwellen des Wassers nicht bloss in einen festen Stab leiten und diesen ans Ohr halten, sondern diesen auch mit einem das Ohr ausfüllenden Stopfen in Verbindung bringen, so dass der Zwischenkörper der Luft so viel als möglich ausgeschlossen ist.

Nur auf diese Weise hört man eine im Wasser selbst läutende kleine Glocke mit ihrem vollen Klange *).

Muss der Schall zuerst in Wasser und aus diesem wieder in Luft zu unserm Gehörorgan gelangen, so ist die Schwächung noch grösser; daher hören Taucher von dem über dem Wasser erzeugten Schall nichts. Gehler's *physiol. Wörterb.* 8. p. 449.

Beim Hören in der Luft hängt übrigens die Stärke des Schalls von der Dichtigkeit und der Trockenheit der Luft ab. Die Schnelligkeit der Schallleitung nimmt zwar mit der Verdünnung der Luft zu, aber die Stärke der Schwingungen nimmt mit der Verdünnung ab. Eine im verdünnten Luftraum tönende Glocke wird fast gar nicht gehört. Genau genommen ist allerdings damit doch nur bewiesen, dass die Verminderung des Stosses beim Uebergang der Wellen aus der Glocke an die verdünnte Luft und von dieser an den Recipienten sehr gross ist. Ueber das unmittelbare Hören von Luftwellen verdünnter und verdichteter Luft, nämlich solcher Wellen, die ohne durch feste Körper durchzugehen, auf das Trommelfell stossen, sind noch fast gar keine Versuche angestellt. Man hat nur die von Saussure auf dem Montblanc angestellte Erfahrung, dass in den dünneren Luftschichten ein Pistolenschuss nicht mehr Geräusch machte, als ein kleiner Schwärmer es gewöhnlich thut.

II. Unmittelbare Schallleitung des Wassers zum Gehörorgan.

Wenn wir im Wasser selbst untertauchen, gelangen die Schallwellen des Wassers zum Trommelfell. Alle im Wasser selbst erzeugten Schalle werden dann vortrefflich gehört, wie die Erfahrungen von Nollet und Monro zeigten, und jeder, der im Wasser untergetaucht, weiss. Schwieriger werden im Wasser die aus der Luft ins Wasser übergehenden Schallwellen gehört, welche bei diesem Uebergang eine beträchtliche Verminderung der Stösse ihrer schwingenden Theilchen erleiden.

III. Unmittelbare Schallleitung fester Körper zum Gehörorgan.

Die grösste Intensität des Schalles bei primären Luftwellen findet statt bei unmittelbarer Leitung des Schalles durch die Luft zum Gehörorgan; die grösste Intensität des Schalles primärer Wellen fester Körper findet statt bei unmittelbarer Leitung derselben durch feste Körper zum Gehörorgan. Der Klang eines Stückes Holz oder Metall ist schwach von der Luft geleitet, ausserordentlich stark, wenn eine Schnur vom klingenden Körper an die Zähne oder in beide verstopfte Ohren gehalten wird. Bei 300 Ellen Entfernung hörten Herhold und Rafn den Klang eines Löffels durch eine am Löffel selbst befestigte Schnur auf diese Weise noch wie den Ton einer Glocke. Jeder weiche und feste

*) Dass eine Glocke aus dem Wasser keinen Klang, sondern nur einen kurzen Stoss wahrnehmen liess, wie Colladon fand, konnte von der grössern Entfernung oder auch von der Unvollkommenheit der angewandten Leitung abhängen. Denn klanglos wird der Ton einer nahen im Wasser tönenden Glocke nach meinen Versuchen nur gehört, wenn er nicht durch eine Kette fester Körper aus dem Wasser zum Labyrinth kommt, sondern durch eine Luftschicht durchgehen muss.

Theil des Kopfes ist zur Aufnahme der Stösse fester Körper geeignet. Am schwächsten werden sie durch die Weichtheile des Kopfes fortgepflanzt, wenn man den Stab, der den tönenden Körper berührt, an sie anlegt *) Stärker ist diese Leitung, wo die Kopfknochen dünn bedeckt sind, noch stärker, wo sie frei liegen, wie an den Zähnen. Wird eine Uhr an die Zähne angelegt, so ist ihr Schlag ungemein deutlich, am stärksten an den Zähnen des Oberkiefers, von wo die Leitung bloss durch harte Theile durchgeht. Schwächer ist die Leitung bei Berührung der Zunge, am schwächsten, wenn die Uhr nur in die Luft der Mundhöhle gehalten wird. Ebenso stark, und noch stärker ist die Leitung durch die Wände des äussern Gehörganges, wenn dieser verstopft ist und ein Stab zwischen Uhr und Stopfen oder die nächste Umgegend des Gehörganges angelegt wird. In diesem Fall kommen die Wellen fester Körper statt durch die Kopfknochen ins Labyrinth, vielmehr unmittelbar durch eine Kette von festen Wänden und zunächst von den Wänden des Gehörganges auf das Trommelfell und die Gehörknöchelchen. Die Wirkung des Hörrohrs der Schwerhörigen beruht zum Theil auf der ungeschwächten Fortleitung der Luftwellen, zum Theil auf der Resonanz der Luftsäule des Hörröhrs, zum Theil aber auch auf der Communication der resonirenden Wände des Rohrs mit den festen Theilen des Gehörganges. Dass auch letztere von Wichtigkeit ist, kann man an einem Beispiel sehen, wo die Condensation der Luftwellen wegfällt. Lässt man nämlich in ein Rohr sprechen, und fasst, bei verstopften Ohren, das Rohr von der Seite zwischen den Zähnen, so hört man einen ausserordentlich starken Schall, welcher von der Resonanz des Rohrs abhängt, die man durch die Luft allein zum Ohr gelangend kaum hören würde.

Die unmittelbare Leitung fester Theile zu den festen Theilen des Gehörorgans wird auch in Anspruch genommen beim Hören durch Auflegen des Ohrs auf den Erdboden. Ist das Ohr dabei verstopft und berührt der Stopfen die Erde, so ist die Leitung noch viel stärker. Natürlich konnen hiebei nur solche Töne stark vernommen werden, welche primär im Erdboden entstehen oder in festen Theilen entstehend, durch feste Theile dem Erdboden zugeleitet werden, wie die Fusstritte der Menschen und Pferde; dagegen primäre Luftwellen viel schwerer dem Erdboden sich mittheilen und in diesem keinen geeigneten Leiter für das anliegende Ohr haben.

Bei der Stethoskopie geschieht ganz dasselbe. Töne in festen Theilen erregt, oder durch feste Theile durchgehend, werden von diesen ab in die festen Theile des aufliegenden Ohrs geleitet. Das Ste-

*) Nach den Erfahrungen von PERIER und LARREY an Trepanirten sollte man glauben, dass die Schallwellen leichter aus der Luft durch bloss weiche Theile zum Gehörnerven, als durch den von der Haut bedeckten Schädel geleitet werden. Bei verstopften Ohren sollen Trepanirte den Schall über der überhäuteten Trepanationsöffnung besser hören. Der Erfolg, der mir nicht hinreichend constatirt scheint, soll aber nur stattfinden, wenn die Oeffnung an dem vordern Theile des Kopfs sich befindet. LARREY *clinique chirurgicale. Paris* 1836 33.

thoskop selbst leistet wenig mehr als das aufliegende Ohr selbst, ausser durch seine Resonanz. Bei seiner gewöhnlichen Einrichtung findet eine doppelte Leitung statt, von den festen Theilen des tönenden Körpers durch das Holz zu den festen Theilen des Gehörorgans, und zweitens von den festen Theilen des tönenden Körpers an die Luftsäule im Stethoskop und sofort durch die Luft auf das Trommelfell. Die letztere Leitung ist viel schwieriger, da die Schallwellen von der Oberfläche des festen menschlichen Körpers schwer an die Luft übergehen, ist aber doch durch Resonanz nützlich. Daher ein blosser Stab nicht dieselben Dienste thut wie ein Stethoskop. Dagegen kann man den Ton auch durch einen blossen Stab stark hören, wenn man sich das Ohr durch einen Papierstopfen ausstopft, und den Stab, zwar nicht an den Stopfen (denn die Reibungen stören das Beobachten), sondern an die weiche Umgebung des äussern Ohrs hält. In diesem Falle theilt sich die Leitung fester Theile durch den Stopfen vollständiger den Wänden des Gehörganges und sofort dem Trommelfell mit.

Bei Schwerhörigen, welche die Luftwellen selbst durch ein Hörrohr nicht mehr vernehmen, ist es zuweilen nützlich, die Luftwellen in Wellen fester Körper zu verwandeln, und diese durch Berühren des festen Körpers hören zu lassen. Am zweckmässigsten ist hierzu, wenn es sich um das Hören der Stimme Anderer handelt, in ein Becken sprechen zu lassen, von dem ein Stab ausgeht, der zwischen die Zähne gefasst oder einen Stopfen im Ohr gehalten wird.

Die hieher gehörigen Erfahrungen über das Hören Schwerhöriger durch feste Theile finden sich gesammelt in Chladni's *Akustik p.* 262. 286. und Lincke *a. a. O. p.* 530.

III. Akustische Eigenschaften des Labyrinthes.

Labyrinthwasser.

Unter den akustischen Einrichtungen des Labyrinthes nimmt das allgemeinste und nie fehlende zuerst die Aufmerksamkeit in Anspruch, das Labyrinthwasser. In allen Fällen werden nämlich die Schwingungen immer erst auf Schwingungen des Wassers reducirt, ehe sie den Gehörnerven treffen. Warum hat es die Natur bei den meisten Thieren vermieden, die den Kopfknochen mitgetheilten Stosswellen von diesen selbst aus ohne Labyrinthwasser auf den Hörnerven zu verpflanzen? Bei den Luftthieren lässt sich sogleich als Grund anführen, dass die Mittheilung der Stosswellen aus der Luft an die festen Theile des Kopfes zu schwierig ist, während sie hingegen aus der Luft an Wasser durch Vermittelung einer gespannten Membran leicht ist, mag diese selbst das Wasser berühren oder erst durch einen beweglichen frei begrenzten festen Körper auf dasselbe wirken. Aber bei den im Wasser lebenden Thieren reicht diese Erklärung nicht aus. Die Mittheilung von Schwingungen aus dem Wasser an feste Körper, und also an die Kopfknochen (wie bei den Knochenfischen) ist leicht.

Dennoch werden auch hier wieder die Schwingungen der Kopfknochen auf Schwingungen des Labyrinthwassers reducirt, um von diesem aus den Hörnerven zu treffen. Der Grund muss also wohl ein allgemeinerer seyn. Er liegt wahrscheinlich in Folgendem. Der letzte Endzweck des Gehörorganes ist vollkommene Mittheilung der Stosswellen an die Nervenfasern. Da diese wie alle Nerven weich und von Wasser durchdrungen sind, so würde schon die Mittheilung der Stosswellen von festen Theilen an diese weichen Nerven zum Theil eine Reduction auf Schwingungen des Wassers seyn. Ausser der Weichheit der Nerven durch Wasser sind aber auch alle Zwischenräumchen zwischen den Nervenfasern wie in allen weichen Theilen von flüssigen Theilen, sei es Blut oder Zellgewebeflüssigkeit, ausgefüllt. Geschieht die Mittheilung der Stosswellen vom Labyrinthwasser aus auf die Fasern des Hörnerven, so ist das Medium der nächsten Mittheilung gleichartig mit dem, welches alle Porositäten und Interstitien der Nerven selbst einnimmt. In diesem Fall mag die Schwingung der Theilchen in dem Nerven selbst viel gleichartiger seyn, als wenn bloss die Oberflächen des Nerven feste Theile berührten. Im letztern Falle würden die Theilchen des Nerven, welche die festen Theile berühren, eine andere Contiguität haben als diejenigen Theilchen des Nerven, welche mehr im Innern des Nerven und von der Berührungsfläche mit festen Theilen entfernt liegen. Muncke (Gehler's *physic. Wörterb.* 4. 2. p. 1211.) bemerkt in Beziehung auf das Labyrinthwasser, dass das Wasser, obgleich untauglich zur Tonerzeugung, den Schall vortrefflich, ja noch besser als die Luft leite. Diess möchte ich nicht zugeben, und es kann sich nur auf die Geschwindigkeit der Leitung beziehen. Denn die Luft leitet ihre eigenen Wellen, und das Wasser seine eigenen Wellen am wenigsten ungeschwächt weiter.

Die sogenannten Wasserleitungen scheinen mir in der Physiologie des Gehörs gar keine Stelle zu verdienen. Sie enthalten keine häutigen Canäle und keine Flüssigkeit, auch keine Venenstämme, sie sind nur Verbindungen der Beinhaut und Dura mater mit der innern Beinhaut des Labyrinths. Mueller's *Archiv* 1834. 22.

In der Ausbildung des Labyrinthes giebt es 3 Stufen, 1) blosser Vorhof mit einem Bläschen; 2) Vorhof mit halbcirkelförmigen Canälen mit ähnlicher Bildung des membranösen Labyrinthes; 3) die vorhergehende Stufe mit der Schnecke.

Vorhof. Halbcirkelförmige Canäle.

Man setzt die Function der halbcirkelförmigen Canäle gewöhnlich mit Scarpa in die Sammlung der Wellen aus den Kopfknochen. Bei Canälen kömmt die Resonanzfähigkeit ihres Inhaltes, die condensirte Fortleitung im Innern derselben und die Resonanz der Wände in Betracht.

Was zuerst die Resonanz des Inhaltes eines Rohrs betrifft, so muss dieser im Labyrinth alle Bedeutung abgesprochen wer-

den, da das Wasser, an feste Körper angrenzend, in sich wahrscheinlich keine merkliche Resonanz durch Abworfung der Wellen von seinen Grenzen besitzt. Auch zum Sammeln der Schallwellen aus festen Körpern scheint das Wasser wenig geschickt zu seyn. Wurde in die vielfach communicirenden Rinnen eines anatomischen Tisches Wasser gegossen, dann am Ende des Tisches die tönende Stimmgabel aufgesetzt, so hörte ich den Ton im Wasser mittelst des in das Wasser allein eingetauchten Conductors nicht stärker, als wenn auf der Oberfläche des Tisches eine kleine Stelle mit Wasser bedeckt war und mit diesem Wasser der Conductor in Berührung gebracht wurde. Ich liess ferner in ein dickes Brett Canäle bohren, parallel mit der Fläche des Brettes. Diess Brett konnte in die Seite eines hölzernen Beckens eingesetzt werden, so zwar, dass die Oeffnungen der Canäle mit der Höhle des Beckens communicirten. Wurde das Becken und von da aus die Canäle mit Wasser gefüllt, und wurden in dem Wasser des Beckens mit der durch Membran geschlossenen Pfeife Schallwellen erregt, so wurde der Ton mit dem Conductor nicht schwächer gehört, wenn die Communications-Löcher der Canäle mit dem Becken durch Stopfen geschlossen, als wenn sie offen waren.

Nun fragt sich, in wie weit ein mit Wasser gefülltes Rohr mit einem durch Luft gefüllten schallleitenden Communicationsrohr verglichen werden könne. In letzterem lässt sich bekanntlich der Schall mit fast unveränderter Stärke weit fortleiten, weil sich die Wellen der Luft schwer den festen Wänden des Rohrs mittheilen und an den Krümmungen auch reflectirt werden. Bei einem mit Wasser gefüllten Rohr, das Schallwellen des Wassers leitet, ist es ganz anders; einige Reflexion findet auch im Wasser statt (siehe p. 422); aber das Wasser giebt seine Wellen viel leichter an feste Körper als die Luft ab und die Stärke des in einer gewissen Richtung fortschreitenden Stosses im Wasser erhält sich in Wasserröhren nur auf ganz kurze Strecken. Wurde z. B. das mit Membran geschlossene Ende der einfüssigen Pfeife mit einem Rohr von 4 Zoll Länge, 8 Linien Breite verbunden und in Wasser so gehalten, dass die Membran ganz mit dem Wasser in Berührung war, so war allerdings der Ton der Stösse der angeblasenen Luftsäule im Wasser am Ende des Rohrs, also auf 4 Zoll Länge, mit dem Conductor noch stärker hörbar, als im übrigen Wasser, stärker als im Wasser an der Aussenseite des Communicationsrohrs und starker als bei gleicher Entfernung ohne Communicationsrohr. War aber die Länge des Communicationsrohrs 1 Fuss, so war es mir unmöglich, eine grössere Stärke im Wasser des Beckens am Ende des Rohrs als an anderen Stellen des Wassers wahrzunehmen. Ich verband auch 2 Wasserbecken durch eine 6 Fuss lange Röhre von Glas und erhielt keinen der Wirkung eines Communicationsrohrs ähnlichen Erfolg. Der Schall wurde nicht stärker am andern Ende des Rohrs im Wasser gehört, als wenn der Conductor den resonirenden Wänden des Beckens nahe kam.

Hieraus geht hervor, dass man bei den halbcirkelförmigen

Canälen zwar auf einige stärkere Fortleitung des Schalls in der Richtung ihrer Krümmung rechnen, dass aber diese ungeschwächte Fortleitung durch Röhren bei weitem nicht so vollkommen ist wie in mit Luft gefüllten Röhren.

Einige aber nur geringe Condensation des Gehörs wird daher dadurch entstehen, dass dieselbe Welle, welche durch die Schenkel eines Canals im Vorhof eintritt, mit einem Theil ihres Stosses durch die entgegengesetzten Schenkel zurückgelangt. Th. Young hat hierauf gerechnet.

Kömmt der Stoss nicht durch die Fenster, sondern durch die Kopfknochen wie bei den Fischen und auch zum Theil bei uns, so wird dieser Grad von Condensation auch durch die halbkreisförmigen Canäle stattfinden.

In den halbcirkelförmigen Canälen kömmt endlich auch die Resonanz der Kopfknochen von den Schwingungen des Labyrinthwassers in Betracht. Denn in der Nähe fester Wände im Wasser, denen Schallwellen mitgetheilt werden, werden diese immer stärker als ceteris paribus im übrigen Wasser gehört. Dass der Conductor nicht die Wände selbst berühren dürfe, versteht sich von selbst. Liegen sich 2 im Wasser resonirende Wände nahe, so sind natürlich die Wellen des Wassers zwischen ihnen noch stärker. Diess konnte man an dem vorher erwähnten Apparat mit dem von Canälen durchzogenen Brett, das mit einem Wasserbecken verbunden war, wahrnehmen. Wurde der Conductor ins Innere des Canals des Brettes vom Becken aus gehalten, so wurde der mit der Stimmgabel dem Brett mitgetheilte Ton ein wenig stärker gehört, als wenn der Conductor bei gleicher Entfernung den Wänden des Beckens selbst genähert wurde. Zur richtigen Vergleichung muss in beiden Fällen ein gleich langes Stück des Conductors mit dem Wasser in Berührung seyn, denn der Ton ist stärker, wenn der Conductor tiefer eingetaucht wird.

Nimmt man nun an, dass die halbcirkelförmigen membranösen Canäle im Stande seien, die Resonanz der Kopfknochen in das Wasser zu sammeln und in der Richtung ihrer krummen Bahn besser fortzuleiten als in der Direction des Stosses, so wird die Verstärkung den Ampullen und dem Alveus communis, wo sich der Nerve ausbreitet, zu Gute kommen.

In wie weit die membranösen Canäle die festen Canäle berühren, muss diese Wirkung noch viel stärker werden. Aber auch auf eine von den umgebenden festen Theilen unabhängige Mitwirkung der halbcirkelförmigen membranösen Canäle wird man durch die für die Physiologie des Gehörs wichtige Thatsache geführt, dass die halbcirkelförmigen Canäle der Petromyzon gar nicht von festen Theilen isolirt umgeben sind, sondern mit dem alveus communis in derselben gemeinschaftlichen festen Capsel liegen.

Autenrieth und Kerner nahmen an, dass die verschiedenen Canäle auch im Stande seien die Direction des Schalls dem Nerven anzuzeigen. Allein die Direction des Schalls scheint ausser der stärkern Wirkung auf eines der Ohren, und ausser der verschiedenen Stärke des Schalls nach der Direction des Gehörgan-

ges, und der Concha kein Gegenstand der Empfindung zu seyn. Wären wir auch im Stande die Richtung des Stosses der schwingenden Theilchen zu unterscheiden, so würde doch diese Richtung immer eine doppelte und entgegengesetzte seyn, denn die Theilchen schwingen auch zurück und bei einem Ton wechselt diess regelmässig ab.

Die im Labyrinth der Fische und fischartigen Amphibien enthaltenen Hörsteine*) und der crystallinische Brei im Labyrinth der übrigen Thiere, müsste durch Resonanz den Ton verstärken, selbst wenn diese Körper die Membranen, auf welcher die Nerven sich ausbreiten, nicht berührten. Nun berühren aber diese Körper die membranösen Theile des Labyrinthes, die membranösen Theile und der Nerve erhalten dadurch, in soweit diese Berührung stattfindet, auch Stosswellen aus diesen festen Theilen, welche intensiver sind, als die aus dem Wasser. Man fühlt die Schwingungen des Wassers bei der Schallleitung nicht mit der ins Wasser gehaltenen Hand, wohl aber wenn man ein Stück Holz mit der Hand im Wasser hält.

Diess scheint mir die wahre Bedeutung des crystallinischen Breies und der Hörsteine zu seyn. Die Ansicht, dass der crystallinische Staub beim Hören von den Wänden abgeworfen werde, wie der Staub auf schwingenden Scheiben und Membranen, lässt sich physicalisch nicht rechtfertigen: Denn im Wasser sieht man während der Schallleitung den im Wasser schwebenden Staub nie die geringste Bewegung machen.

Andere directe Versuche lassen sich nicht gut anstellen. Ich band ein Stück erweichte Schweinsblase im Wasser mit Wasser und Sand zu einem Beutelchen, welches ich platt drückte, ich ahmte das membranöse Labyrinth mit dem crystallinischen Brei nach, und untersuchte seine Wirkung auf Schallwellen des Wassers, die mit der Pfeife erregt werden, mittelst des Conductors. Das Beutelchen wurde nämlich im Wasser zwischen das Ende der Pfeife und den Conductor gehalten, ohne sie zu berühren. Allerdings war der Ton stärker, als wenn ceteris paribus das Beutelchen weggenommen wurde. Bei einem Gegenversuch bemerkte ich indess, dass dieses platt gedrückte Beutelchen von Membran, auch ohne den Sand bloss Wasser enthaltend, den Ton (durch Resonanz) verstärkte. Wovon die Resonanz membranöser Theile im Wasser abhängt, ist mir nicht klar geworden. Ein von der Kalkerde befreiter Oberarmknochen eines Vogels zeigte, aussen und inwendig mit Wasser in Berührung, fast gar keine Resonanz, ebenso wenig ein mit Wasser gefülltes Darmstück des Kalbes, und es war bei einem im Wasser erregten Ton ganz gleich, ob der Conductor an ein langes Darmstück, oder bei

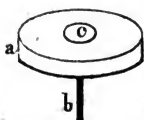
---

*) Die Otolithen der Knochenfische haben eine ähnliche Structur, wie der Schmelz der Zähne. Die des Zanders bestehen z. B. aus zonenartig geordneten Schichten, in denen man sogleich schon eine regelmässige faserartige Bildung erkennt. Werden die geschliffenen Blättchen mit Salzsäure behandelt, so sieht man, dass die Schichten aus eben solchen zugespitzten Körperchen bestehen, wie ich sie aus dem noch nicht hart gewordenen Schmelz beschrieben habe. POGGEND. *Ann.* 38.

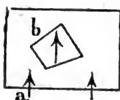
gleicher Entfernung von der Ursprungsstelle des Tons an ein kurzes im Wasser liegendes Darmstück angelegt wurde.

Schnecke.

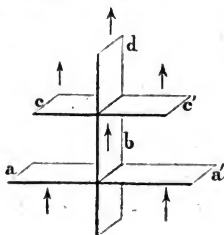
Bei der Akustik des Labyrinthes kömmt ferner die Direction der Fortpflanzung des Stosses und der Wellen im Wasser und den festen Theilen des Labyrinthes in Betracht. Savart's Untersuchungen über die Fortpflanzung der Stosswellen von festen Theilen auf Wasser, und vom Wasser auf feste Theile können hierauf angewandt werden. Diese Fortpflanzung scheint ganz wie in andern Medien zu erfolgen. Ist *a* ein Gefäss mit Wasser, *b* ein an den Boden desselben befestigter Stab, *c* eine auf dem Wasser schwimmende Holzplatte, so theilen sich longitudinale Wellen, welche in dem Stab *b* erregt werden, durch das Wasser in derselben Richtung der Platte *c* mit, wie der darauf hüpfende Sand zeigt.

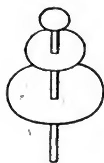


Ist ferner *a* ein Gefäss mit Wasser, *b* eine darauf schwimmende Platte, deren Ränder schief sind zu den Wänden des Gefässes *a*, und wird die Wand des Gefässes durch den Fidelbogen in der Richtung des Pfeils in Schwingung versetzt, so pflanzt sich der Stoss durch das Wasser auf die Platte und durch dieselbe in derselben Richtung fort, die schiefe Richtung der Ränder der Platte gegen die Richtung des Stosses ändert also die Direction des fortgepflanzten Stosses nicht ab. Die Fortpflanzung geschieht also, gerade so, wie wenn im ersten Fall der Stab *b* unmittelbar mit der Platte *c*, und im zweiten Fall die Wand *a* mit der Platte *b*, deren Fläche senkrecht zur Wand liegt, durch einen Stab verbunden wären. Daher lassen sich auch die Gesetze der Fortpflanzung des Stosses durch Platten, welche unter Winkeln auf einander stossen, auf das Labyrinth anwenden.



Aus den schon p. 433. mitgetheilten Thatschen ergiebt sich, dass wenn *a*, *b*, *c*, *d* unter einander verbundene Platten sind, und der Platte *a* Schallwellen in der Richtung der Pfeile ertheilt werden, die Schallwellen mit gleicher Direction durch den Stiel *b d* so wie durch die obere Platte *cc'* sich fortsetzen. Diess lässt sich nun auf die Schnecke anwenden. Der Stiel *bd* lässt sich mit dem Modiolus, die Querplatten mit der Spiralplatte vergleichen und zeichnet man diese Figur in die folgende Figur um, so fällt die Aehnlichkeit noch mehr in die Augen. In welcher Richtung daher entweder dem Modiolus, oder der Spiralplatte selbst Schallwellen mitgetheilt werden, im-





mer wird sich die Direction des Stosses in allen Theilen der Schnecke gleich bleiben, mag nun der Stoss zunächst von den Kopfknochen dem Modiolus, oder den Wänden der Schnecke, und von diesen der Spiralplatte oder einem von diesen Theilen durch das Labyrinthwasser mitgetheilt werden. Was die vom Labyrinthwasser ausgehenden Schwingungen betrifft, so ist das ovale Fenster so gerichtet, dass eine auf sein Feld gezogene senkrechte Linie fast parallel mit dem Modiolus der Schnecke läuft, daher werden die von diesem Fenster ausgehenden Stösse wahrscheinlich in den festen Theilen der Schnecke mit dem Modiolus gleich laufende Stösse erregen, d. h. die Spiralplatte wird am leichtesten in ihrer ganzen Ausdehnung in einer auf ihre Fläche beinahe senkrechten Richtung schwingen. Ich erkenne die Direction des Stosses an Platten, die sich im Wasser einen Ton mittheilen, leicht mit dem festen Conductor. Der Ton ist immer stärker, wenn der Conductor in der Richtung auf die Platten aufgesetzt wird, in welchen sich der Stoss fortpflanzt.

Bei der vorhergehenden Erörterung sind die verschiedenen Theile der Schnecke als gleichzeitig oder fast gleichzeitig vom Stosse ergriffen angesehen. Es entsteht nun die Frage, ob nicht auch eine successive Fortleitung des Stosses entlang der Windungen der Schnecke, z. B. vom Vorhof oder vom runden Fenster aus bis in die Kuppel stattfinden könne; so dass ihn entweder das Wasser successiv durch die Scalen fortpflanzt, oder diese Succession der Spiralplatte entlang erfolgt? Da der Canal der Schnecke und mit diesem die Spiralplatte eine beträchtliche Länge, nämlich die Windungen am äussern Umfang eine Länge von 18—19 Linien haben, so könnte, falls ein solches Ablaufen des Stosses entlang der Windungen der Schnecke möglich wäre, die Schnecke zur Verlängerung des Eindrucks dienen. Diese Hypothese ist jedoch sehr zweifelhaft. Eine solche Fortleitung würde durch die Luft in einem gewundenen Rohr stattfinden müssen. Bei der leichten Mittheilung des Stosses vom Wasser an feste Theile wird hingegen die successive Fortleitung der in einem festen Körper gelegenen Spirale von Wasser sich nicht rein erhalten, und die Wellen werden aus dem Anfang der Windungen fast ebenso leicht durch den Modiolus einen andern Theil der Windungen durchschneiden. Auch auf der Spiralplatte ist diese Art der Leitung nicht gut möglich, indem sie sich in die festen Wände der Schnecke fortsetzt und die ihr mitgetheilten Wellen ebenso leicht den Wänden der Schnecke und der Spindel mittheilt, als selbst weiter leitet. Die der Spindel und den Schneckenwänden mitgetheilten Stösse werden aber wieder andere Theile der Spiralplatte, ausser der in der Spiralplatte selbst stattfindenden Fortleitung stossen. Nur wenn der Schneckencanal ohne Windung in der Richtung des Stosses in ganzer Länge gerade angelegt wäre, würde ein Ablaufen der Stosswelle durch denselben erfolgen.

Es ist daher wohl gewiss, dass auf dieses ungestörte Ablaufen des Stosses im Wasser der Schnecke und auf der Spiralplatte

nicht zu rechnen ist. Ein solches Ablaufen der Stösse auf einer 1½ Zoll langen Bahn nervenreicher Theile würde auch der Schärfe der Empfindung eher nachtheilig, als nützlich seyn. Denn es würden auf einer solchen Bahn der Welle Theilchen des Nerven im Maximum des Stosses und der Verdichtung seyn, während andere ihr Maximum noch nicht erreicht haben, wie beim Nachhall. Die Windungen der Schnecke müssen vielmehr, indem sie den Schneckencanal auf einen kleinen Raum beschränken, diesen Nachtheil, wenn er sonst stattfinden könnte, aufheben.

Die Spiralplatte der Schnecke muss daher als eine die Nervenfasern ausgebreitet tragende Platte betrachtet werden, auf welcher alle Fasern des Schneckennerven fast gleichzeitig die Stosswelle empfangen, und gleichzeitig in das Maximum der Verdichtung und dann wieder in das Maximum der Verdünnung eintreten. Nach dieser Theorie wäre es im Allgemeinen ziemlich gleichgültig, ob die Nervenfasern auf mehreren um die Spindel angebrachten cirkulären Platten, wie in der letzten Figur, oder auf einer zusammenhängenden, treppenartig herumlaufenden Platte sich ausbreiten. Die letzte Form, welche die Natur angewandt hat, hat zugleich den Vortheil, dass alle Theile der Platte untereinander im Zusammenhange stehen, und sich ihre Stösse leichter mittheilen.

Die Windungen der Schnecke haben zugleich den Vortheil, eine zur Ausbreitung der Nervenfasern nöthige ansehnliche Fläche im kleinsten Raum zu verwirklichen.

Der letzte Endzweck der Schnecke scheint die Ausbreitung der Nervenfasern auf einer festen Platte, die sowohl mit den festen Wänden des Labyrinthes und Kopfes, als mit dem Labyrinthwasser in Berührung steht, und die sowohl den Vortheil dieser doppelten Leitung, als den Vortheil hat, dass die Platte begrenzt ist. Aus diesem Principe lassen sich alle akustischen Vorzüge der Schnecke ableiten.

Die Verbindung dieser Platte mit den festen Wänden des Labyrinths macht die Schnecke zum Hören der Schallwellen der festen Theile des Kopfes und der Wände des Labyrinthes fähig. Diese Bestimmung der Schnecke hat bereits E. H. Weber angegeben. *Annotationes anatomicae et physiologicae. Lips.* 1834. Der membranöse Labyrinth liegt frei im Labyrinthwasser, und ist offenbar mehr zum Hören der dem Labyrinthwasser selbst mitgetheilten Stösse bestimmt, mögen die Stösse durch die Kopfknochen, wie bei den Fischen, beim Menschen beim Hören mit den Kopfknochen und Zähnen, oder durch die Fenster ins Labyrinthwasser gelangen. Allerdings ist auch der membranöse Labyrinth der Resonanz der festen Wände des Labyrinthes ausgesetzt, denn die dem Wasser mitgetheilten Schallwellen werden, wie ich gezeigt, in der Nähe fester Wände stärker gehört. Indess hört der membranöse Labyrinth die Stösse doch immer zunächst nur aus dem Wasser. Die Spiralplatte der Schnecke hingegen mit den festen Wänden des Labyrinthes im Zusammenhang, hört die den festen Wänden mitgetheilten Stösse unmittelbar aus den festen Wänden. Diess ist ein bedeutender Vortheil; denn die den festen

Theilen mitgetheilten Stösse sind ceteris paribus absolut stärker, als die des Wassers.

Diess folgt mit aller Evidenz aus den bereits mitgetheilten Untersuchungen. Wollte man die Intensität der Stösse fester Körper und des Wassers so vergleichen, dass man den Conductor einmal an die festen Körper legt, das andere Mal ins Wasser taucht, so würde man sich irren. Denn die Stösse fester Körper gehen mit unveränderter Stärke an den sie berührenden festen Conductor, geschwächt hingegen aus dem Wasser an den festen Conductor über. Vergleicht man aber mittelst des Conductors Schallwellen im Wasser, in der Nähe fester Wände ohne Berührung derselben, und in Entfernung davon, so ist das Mittel der Vergleichung in beiden Fällen dasselbe. In beiden Fällen hört man mittelst des Conductors aus dem Wasser. Beiderlei Stösse werden hier auf dasselbe Mittel reducirt. Da nun selbst bei der Erregung eines Tons im Wasser, das Wasser in der Nähe der Wände des Beckens stärker schallt, als an anderen gleichweit von der Ursprungsstelle des Schalls entfernten Stellen des Wassers, so folgt, dass ceteris paribus, die Schallwellen fester Körper intensiver wirken, als die des Wassers. Und hieraus sieht man sogleich den grossen Vortheil der Schnecke ein.

Die Schnecke ist indess nicht bloss in dieser Absicht angelegt, die Spiralplatte empfängt auch, so gut wie der membranöse Labyrinth, die Stosswellen des Labyrinthwassers vom Vorhof und vom runden Fenster aus. Die Spiralplatte des Menschen und der Säugethiere ist hierzu noch viel geeigneter, als der membranöse Labyrinth; denn als fester und begrenzter Körper ist sie der Resonanz fähig. Von dieser Wirkung kann man sich durch einen Versuch überzeugen. Klemmt man eine dünne Holzplatte in ein mit Wasser gefülltes Becken von Holz von sehr dicken Wänden ein, so resonirt die Platte ceteris paribus stärker ins Wasser, als die dicken Wände des Beckens. Lässt man nämlich mit der mit Membran geschlossenen Pfeife Schallwellen im Wasser des Beckens erregen, indem das Pfeifenende im Wasser senkrecht gegen die festgeklemmte Platte gerichtet ist, ohne sie zu berühren, so hört man mittelst des Conductors in der Nähe der Wände der Platte überall den Ton im Wasser stark, auch entfernt von der Ursprungsstelle des Schalls. Lässt man die Pfeife gleichweit entfernt gegen die Wände des dicken Beckens von Holz richten, so hört man mittelst des Conductors in der Nähe der Wände auch stark, aber nicht so stark wie im vorhergehenden Fall. Es ist gleichviel, ob man die Platte an einem Rande oder an beiden entgegengesetzten Rändern befestigt, wenn nur ihre Seiten frei sind und das Wasser berühren.

Zuletzt lässt sich einsehen, warum die Fasern des Nerven einzeln neben einander auf der Spiralplatte ausgebreitet werden.

Je dicker der Schneckennerve auf festen Theilen der Schnecke sich ausbreitete, um so weniger würde er die Stösse der festen Theile der Schnecke empfangen, da er den festen Theilen der Schnecke ungleichartig ist, je feiner er aber darauf vertheilt ist,

um so leichter werden seinen Fasern die Stösse der sie berührenden festen Theile mitgetheilt.

Mit der Oberfläche des Körpers, welche die Schallwellen berühren, wächst ferner auch die Stärke der Mittheilung. Wird der Conductor bei verstopften Ohren in Wasser gehalten, worin ein Schall erregt wird, so nimmt dieser Schall an Stärke zu, je tiefer der Conductor ins Wasser gesenkt wird, oder auch je breiter er auf das Wasser aufgelegt wird.

III. Capitel. Wirkung der Schallwellen auf den Gehörnerven und Eigenwirkungen desselben.

1. Wirkungen der Schallwellen auf den Gehörnerven.

Die Untersuchung dieses Gegenstandes muss von den Eigenschaften der Wellen ausgehen, welche ins Labyrinthwasser gelangen.

Bei einer von einem tönenden Körper erregten und zum Labyrinth gelangenden Stosswelle müssen folgende Eigenschaften unterschieden werden:

1) Ihre Dicke und die Dauer ihres Eindrucks.

2) Ihre Breite.

3) Die Stärke der Excursion oder die Grösse der Bahn der schwingenden Theilchen.

Die Dicke der Wellen ist die Ausdehnung einer Welle in der Richtung, in welcher sie fortschreitet. Die Dicke einer Welle in einem schallleitenden Medium hängt ab theils von der Zeit, welche der tönend schwingende Körper von einer bis zur andern Schwingung oder zu einer ganzen Schwingung braucht, theils von dem Fortpflanzungsvermögen des schallleitenden Mediums. Die Luftsäule der 32 füssigen Orgelpfeife macht in der Secunde 32 Doppelschwingungen, oder 16 Stösse in einer Richtung. Der eine Theil der Doppelschwingungen bringt die Verdichtung des schallleitenden Mediums oder den Wellenberg, der andere rückkehrende Theil der Schwingung die Verdünnung oder das Wellenthal hervor. Da nun die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft 1022 Fuss in der Secunde beträgt, so ist die Distanz zwischen dem Anfang und dem Ende einer Stosswelle oder die Dicke einer Welle in der Luft $\frac{1022}{16}$ oder beinahe 64 Fuss beim C der 32 füssigen Orgelpfeife.

Beim Ton der 16 füssigen Orgelpfeife contra C mit 64 Doppelschwingungen oder 32 einseitigen Stössen ist die Dicke der Welle in der Luft $\frac{1022}{32}$ oder beinahe 32 Fuss.

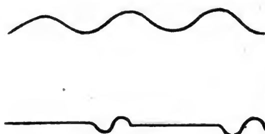
Beim Ton der 8 füssigen Orgelpfeife oder grossen C mit 128 Doppelschwingungen oder 64 einseitigen Stössen ist die Dicke der Welle in der Luft $\frac{1022}{64}$ oder beinahe 16 Fuss.

Beim Ton der 4 füssigen Orgelpfeife oder kleinen c ist die Dicke der Welle in der Luft 8 Fuss, bei $\bar{c}$ 4 Fuss, bei $\bar{\bar{c}}$ 2 Fuss, bei $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 1 Fuss.

Die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser ist 4 Mal schneller als in der Luft, und beträgt 4090 Fuss in der Secunde. Die Dicke der Wellen ist daher im Wasser in diesem Verhältniss grösser, nämlich beim C der 32 füssigen Pfeife = 256 Fuss, beim contra C 128, beim grossen C 64, beim ungestrichenen c 32, beim $\bar{c}$ 16, beim $\bar{\bar{c}}$ 8, beim $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 4 Fuss. Mit dieser Dicke gehen die Wellen also auch durch das Labyrinthwasser, und es ergiebt sich hieraus, dass bei dem kleinen Umfang des Labyrinthes, selbst bei den höchsten Tönen nicht mehrere Wellen gleichzeitig auf ihrem Durchgang durch das Labyrinth sich befinden, dass vielmehr in der Regel eine Welle mit dem Gipfel, mit dem Maximum ihrer Verdichtung oder dem Wellenberge das Labyrinth verlassen hat, wenn das Labyrinth von dem Maximum der Verdichtung der nächsten Welle getroffen wird.

Die Dauer des Eindrucks, den eine Welle beim Durchgang durch irgend ein Theilchen des Labyrinthes an diesem hervorbringt, hängt von der Dauer einer Schwingung des tönenden Körpers ab. Beim C der 32 füssigen Pfeife beträgt diese Dauer $\frac{1}{16}$, beim $\bar{\bar{\bar{c}}}$ $\frac{1}{1024}$ Secunde.

Man muss übrigens für gewisse Fälle noch die Dicke der Wellen von der Distanz der Wellen unterscheiden. Wird der Ton durch hin und herschwingende Körper erregt, so ist diese Distanz gleich 0, und die Wellen stossen unmittelbar aneinander, wie in beistehender Figur versinnlicht ist, nur dass man sich statt der Beugungen Verdichtungen und Verdünnungen denken muss. Wird der Ton aber durch Stösse erregt, zwischen welchen Momente der Ruhe sind, so ist das schallleitende Medium schon hinter einer Welle zur Ruhe gekommen, ehe die nächste Welle beginnt, wie in beistehender Figur versinnlicht wird. Diess ist bei der Erregung der Töne durch blosse Stösse, wie beim SAVART'schen Rad und bei der Sirene möglich. Demgemäss kann auch unter gewissen Bedingungen die Dauer des Eindrucks oder Durchgangs der Wellen durch einen gegebenen Punct des Labyrinths kleiner seyn, als die Zwischenzeit ihrer Maxima.



In der Dicke einer Welle findet eine allmählige Abstufung der Dichtigkeit vom Anfang bis ans Ende statt. Am Anfang der Welle fängt die Dichtigkeit an zuzunehmen, ihre Dichtigkeit steigt am Ende des ersten Viertels zum Maximum, und nimmt bis zur Hälfte ihrer Länge ab, in dem Hintertheil der Welle ist Verdünnung, denn hier streben die vorher verdichteten Theilchen sich von einander zu entfernen. Die Verdünnung wird gegen das hintere Viertel immer stärker, und nimmt im hintern Viertel wieder ab.

Indem die Stosswelle im Labyrinthwasser fortschreitet, gehen

alle Theilchen desselben in der Richtung des Stosses successiv durch diese Grade der Verdichtung und Verdünnung durch.

Da die Verdichtung durch Annäherung der Molecule, die Verdünnung durch Entfernung derselben von einander hervorgebracht wird, so durchlaufen alle Theilchen der Welle gleichzeitig eine gewisse Bahn des Stosses. Diese Bahn ist am Anfang der Welle gering, denn der Stoss ertheilt den Theilchen eine um so geringere Bewegung, je entfernter sie von der unmittelbar gestossenen Stelle liegen. Im Hintertheil der Welle schwingen die Theilchen wieder zurück, und es findet derselbe Unterschied ihrer Geschwindigkeiten statt. Beim Durchgang der Welle durch einen Punct des Mediums, erhalten die an diesem Ort befindlichen Theilchen successive eine steigende, dann wieder abnehmende Verdichtung, und gerathen wieder im Hintertheil der Welle in Verdünnung. Zugleich wird die Geschwindigkeit, mit welcher ein Theilchen des Mediums beim Durchgang der Welle durch diesen Punct sich bewegt, successive schneller, erreicht ein Maximum wird wieder langsamer. Während des Durchgangs des Wellenthals durch diesen Punct macht das Theilchen seine rückkehrende Schwingung mit anfangs zunehmender, dann wieder abnehmender Geschwindigkeit. Alles diess ist auf den Hörnerven anwendbar.

Die Dicke der Wellen bleibt sich bei der Fortpflanzung des Schalles in alle Entfernungen gleich, aber die Bahn der schwingenden Theilchen nimmt mit dem Quadrat der Entfernungen ab. Von der Grösse der Bahn der schwingenden Theilchen hängt allein die Intensität oder Stärke des Schalls oder Gehörs ab.

Der Umfang der Wellen in der Luft ist kugelförmig. Auf das Gehörorgan trifft nur ein Stück dieser Kugel, welches man die Breite oder Flächenausdehnung der Welle nennen kann. Die Breite der Welle, welche zum Gehör benutzt wird, hängt von der Breite ab, in welcher der Gehörnerve von der Welle getroffen wird. Die von der Trommelhöhle aus zum Labyrinth gelangenden Wellen haben beim Eintritt in das Labyrinth nur die Breite des ovalen und runden Fensters, von hier aus aber breiten sie sich aus.

2. Unterscheiden der Tone.

Zur Empfindung des Schalls scheint ein einfacher Stoss auf den Gehörnerven hinzureichen, wie eine Explosion, die Theilung der Luft, das Zusammenfahren zweier getrennter Luftschichten beim Peitschenknall u. dergl. Dieser Ansicht steht wenigstens nichts entgegen, und auch Chladni findet sie wahrscheinlich, obgleich zugegeben werden muss, dass auch ein einfacher Stoss in der Luft leicht Wellen errege. Am häufigsten liegen allerdings dem Eindruck des Stosses als Schall mehrere Wellen zu Grunde. Doch kann die Frage entstehen, ob nicht bei dem Schall, der aus einer Succession von Stössen entsteht, jeder einzelne Stoss von der Stärke seyn muss, dass er allein schon als Schall gehört würde, und ob eine Succession von so schwachen Stössen, wovon jeder einzelne

wenn er allein stattfände, keinen Eindruck auf das Gehör hervorbrächte, noch gehört wird. Diese Frage ist bis jetzt nicht untersucht worden, und die Mittel scheinen zu fehlen sie zu beantworten.

Durch die schnelle Succession mehrerer Stösse von ungleichen Zwischenzeiten entsteht ein Geräusch oder Gerassel, durch die schnelle Succession mehrerer Stösse von gleichen Zwischenzeiten ein bestimmter Ton, dessen Höhe mit der Zahl der Stösse in bestimmter Zeit zunimmt. Mittelst der Sirene von Cagniard Latour und des Savart'schen Rades kann man sich diess zur Anschauung bringen. Ein bestimmter Ton entsteht auch, wenn jeder einzelne der regelmässig folgenden Stösse selbst wieder aus mehreren Stössen zusammengesetzt ist, die für sich allein schon ein Geräusch hervorbringen würden, oder aus einer hinreichend schnellen regelmässigen Folge von Geräuschen. Diess findet gerade bei den Tönen statt, die durch die erwähnten Apparate hervorgebracht werden. Denn hier ist jeder einzelne Stoss schon ein zusammengesetztes Geräusch, welches man auch leicht durchhört, wenn durch die Summirung der Geräusche der Eindruck des Tones von bestimmter Höhe entsteht.

Nun entsteht zunächst die Frage, wie viele Stösse mindestens hintereinander erforderlich sind, um als bestimmter vergleichbarer Ton gehört zu werden. Nach Savart's Untersuchungen reichen selbst 2 Stösse (das Aequivalent von 4 Schwingungen) dazu hin. Werden nämlich die Stösse durch das Anschlagen der Zähne eines Rades an einen Körper hervorgebracht, so kann man successiv alle Zähne des Rades bis auf 2 wegnehmen, ohne dass der Ton als bestimmter in der Scala aufgehoben wird. Wird ein Rad mit 2000 Zähnen, das sich einmal in der Secunde umdreht, auf die Hälfte der Zähne reducirt, indem man sie an der ganzen einen Hälfte des Rades wegnimmt, so wird das Intervall der Stösse natürlich nicht gestört, aber man kann mit dem Wegnehmen der Zähne fortfahren, bis auf 2 und dreht sich das Rad noch mit derselben Geschwindigkeit, nämlich einmal in der Secunde um, so kann der aus beiden Stössen resultirende Ton noch mit dem Ton eines Instrumentes verglichen, und der Einklang dazu aufgesucht werden.

Werden hingegen die Zähne des Rades bis auf einen reducirt, so wird nicht mehr der bestimmte Ton, sondern nur das Geräusch gehört, welches der eine Zahn hervorbringt, es sey denn, dass das Rad so schnell gedreht werde, dass das Intervall von dem einem bis zum nächsten Stoss des einen Zahnes nicht grösser ist, als das Intervall der Stösse des bestimmten Tons es erfordert.

Werden die Töne durch Schwingungen erregt, wovon die nächste regelmässig anfängt, wenn die vorhergehende aufgehört hat, so kann es zweifelhaft seyn, ob nicht die Höhe des Tons von der Länge der Welle oder einer andern Eigenschaft derselben abhängig ist. Aus den Versuchen mit dem Savart'schen Rad folgt hingegen, dass die Eigenschaft der Höhe des Tones in keiner Weise von der Beschaffenheit der Wellen abhängig ist. Bei

den Tönen, die durch das Rad erzeugt werden, sind die Stösse eines Körpers, der durch die Zähne des Rades erhoben wird, gegen die Luft ganz gleich, mag das Rad schnell oder langsam gedreht werden, nur das Intervall der Stösse ist ungleich.

Die Frage, von dem Maximum und Minimum der Intervalle der Stösse, welche als Töne noch vergleichbar sind, ist auch durch Savart befriedigender und richtiger als früher beantwortet worden. Bei gehöriger Stärke können noch Töne gehört werden, die 48000 einfachen Schwingungen in der Secunde oder 24000 Stössen entsprechen und wahrscheinlich ist selbst diess nicht die Grenze der höchsten hörbaren Töne. Auch sind 32 einfache Schwingungen in der Secunde nicht die Grenze der tiefsten Töne, wie man angenommen, vielmehr konnte Savart noch Töne vernehmlich machen, bei denen nur 14—18 einfache Schwingungen oder 7—8 Stösse in der Secunde stattfinden; und auch noch tiefere Töne sind wahrscheinlich hörbar, wenn die Stösse die hinlängliche Dauer haben. Die Dauer, welche ein Stoss haben muss, um gehört zu werden, ist nämlich in dem Verhältniss kürzer als der Ton höher ist, weil die Zwischenzeit zwischen 2 Stössen bei den höheren Tönen in entsprechendem Verhältniss abnimmt. Bei den tieferen hörbaren Tönen muss also die Dauer der Stösse um so länger seyn, je tiefer sie sind. Um den Stössen bei den tiefsten Tönen längere Dauer zu geben, wandte Savart ein Rad mit 2 oder 4 freien Speichen an, welche, indem sie zwischen 2 Latten, ohne sie zu berühren, durchschlagen, beim Drehen des Rades durch Verdichtung und Verdünnung der Luft starke, einzeln hörbare Stösse hervorbringen, welche sich zum Eindruck eines Tones bei hinreichend schneller Umdrehung des Rades summiren. Die Savart'schen Apparate lassen übrigens eine genaue Zählung zu, da sie mit einem Zähler verbunden sind, dessen Umläufe sich nach Belieben arretiren lassen.

Durch Wegnehmen einzelner oder mehrerer Zähne aus einem umlaufenden Rade konnte sich Savart auch überzeugen, dass der Eindruck auf den Gehörnerven (wie das auch beim Licht der Fall ist) länger als der Stoss dauert. Denn das Wegnehmen eines Zahns bringt keine Unterbrechung des Tons hervor, wie weit dieser Nacheindruck dauert, ist schwer auszumitteln, da der Eindruck nur allmählig erlischt.

Ann. de Chim. et de Phys. XLIV. 337. *XLVII.* 69. Poggend. *Ann. XX.* 290. Fechner's *Repert. I.* 335.

3. Hören mehrerer gleichzeitiger Töne.

Der einfachste Fall dieser Art ist das Hören zweier gleichzeitiger Töne, die im Einklang sind. In diesem Fall sind die Intervalle gleich; entweder fallen die Maxima der Stösse aufeinander, was selten zutreffen wird, oder sie fallen nicht auf einander. Im ersten Fall entstehen stärkere Verdichtungen, wie die erste Figur versinnlicht, im letztern bei 2 oder mehreren Tönen, die im

Einklang sind, hinter einander folgende Maxima, die eine Reihe bilden, wie in beistehender zweiter Figur, so dass die Glieder der





Reihen unter einander correspondiren und die Intervalle dieselben bleiben. Diess kann in keiner Weise störend für das Gehör seyn. Hierher gehört auch die Resonanz, denn die resonirenden und ursprünglichen Wellen verhalten sich, da sie gleich sind, gerade so, wie die Wellen mehrerer unisoner Töne, die primitiv angegeben werden. Die beistehende Figur kann daher auch als Bild für die Gleichzeitigkeit primitiver und resonirender Wellen dienen. Bei der Erzeugung des Klanges kreuzen sich die Wellen des Tons mit Nebenwellen.

Das Hören zweier gleichzeitiger Töne von verschiedener Zahl der Schwingungen muss schwerer seyn, als das Hören eines Tons, denn die Vergleichung der Intervalle ist erschwert dadurch, dass die Maxima der Schwingungen des einen in die Schwingungen des andern fallen. Werden z. B. 2 Töne *a*, *b* mit den hierneben





bezeichneten Intervallen gehört, so entsteht aus den beiden Reihen der unter einander verzeichneten Intervalle die zusammengesetzte Reihe *c*. Werden die 2 Töne durch 2 Räder mit gleich gebildeten Zähnen hervorgebracht, so sind selbst die einzelnen Stösse gleich, und die Art des Stosses kann nicht die Ursache seyn, dass man den einen Ton durch den andern durchhört. Dennoch findet die Unterscheidung beider gleichzeitiger Töne statt, wie ich mich durch einen Versuch überzeugt habe. Diese Unterscheidung muss also auch dann von der Wahrnehmung der Intervalle des einen und andern Tones in der ganzen Reihe der Stösse abhängen. Während die ganze zusammengesetzte Reihe der Stösse abläuft, hat also das Ohr die Fähigkeit die durch gleiche Intervalle getrennten Maxima der Stösse *a*, zwischen den übrigen Stössen *b* wahrzunehmen und umgekehrt, weil sie immer wiederkehren. Die noch kleineren Intervalle, welche durch die Kreuzung der beiden Reihen entstehen müssen, werden überhört, weil sie nicht regelmässig wiederkehren, sehr ungleich ausfallen, je nach ihrer Lage. Diese Unterscheidung hat Aehnlichkeit mit dem Unterscheiden bei zusammengesetzten Gesichtsbildern. In der Figur p. 364. kommen die Hauptdreiecke, ferner das mittlere Sechseck und die peripherischen kleineren Dreiecke zugleich zur Anschauung, aber es hängt auch von der Vorstellung ab, welche Impression augenblicklich die lebhafteste ist. So ist es auch bei mehreren oder vielen Tönen. Die Vorstellung nimmt dann bestimmte Intervalle stärker oder deutlicher wahr, als die übrigen. So sind wir im Stande einzelne Töne eines Instrumentes in einem ganzen Tutti zu unterscheiden. Hierzu trägt natürlich sehr viel bei, dass

verschiedene Instrumente einen verschiedenen Klang haben. Daher dann die Stösse ihrer Töne durch Nebenschwingungen sich auszeichnen werden.

Von besonderem Interesse wird der Fall, wenn zwei gleichzeitige Töne beinahe unison, aber nicht ganz unison sind, so dass z. B. der eine 100, der andere 101 Stösse in der Secunde macht. Dann werden die Stösse des einen allmählig denen des andern voraus eilen, bis sie alle Secunden wieder aufeinander fallen. Die Maxima der Stösse beider Töne werden in der Hälfte einer Secunde am weitesten auseinander liegen, und hier sogar eine Verdünnung des einen und eine Verdichtung des andern sich decken, oder aufheben, wie in beistehender Figur bei wenigen Wellen versinnlicht ist. Dagegen decken sich alle Secunden die Maxima beider Töne, oder verstärken sich. Vom Anfang bis zur Mitte der Figur nimmt die Stärke des Tones ab, indem mehr und mehr auf die Verdichtung des einen, etwas von der Verdünnung des andern kommt, bis sie sich ganz aufheben, von da an wird der Ton durch allmählige Entfernung der Verdünnung des einen von der Verdichtung des andern wieder zunehmen, bis sich am andern Ende wieder bloss die Verdichtungen decken. In der Mitte müsste eigentlich einen Moment vollkommene Stille seyn. Da keine Unterbrechung eintritt, sondern hier nur der Ton am schwächsten ist, so kann der Versuch auch als zweiter Beweis dienen, dass der Eindruck auf den Gehörnerven länger dauert, als die Ursache. Sind 2 gleichzeitige Töne beinahe aber nicht ganz unison, so hört man, ausser dem bestimmten Werthe des Tons, ein wogendes Wachsen und Abnehmen desselben an Stärke. Man nennt diess die Schwebung. Diess Phaenomen wird leicht beim Anschlagen zweier nicht ganz unisono gestimmter Saiten des Monochords bemerkt.

Zwei gleichzeitige Töne, die ein einfaches Verhältniss ihrer Schwingungen zu einander haben, wie 2 zu 3, 3 zu 4, 4 zu 5 und bei welchen sich das Zusammenfallen zweier Stösse hinreichend schnell wiederholt, bringen durch dieses Zuammenfallen einen dritten subjectiven Ton hervor, der jedoch seine Ursachen auch ausser dem Hörenden hat.

a • • • • •

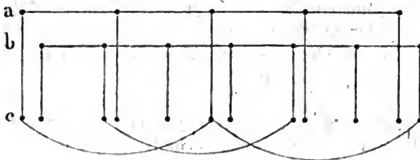
b • • • • • • •

c • • •

Gesetzt der eine Ton *a* mache 2 Schwingungen, während der andere *b* drei macht, so fallen, wenn die Stösse beider zugleich begonnen haben, jedesmal nach 2 Intervallen des einen und 3 des andern, die Stösse des einen und andern auf einander und diess giebt Veranlassung, dass diese stärkeren Stösse c mit grösseren Intervallen für sich noch als dritter oder Tartinischer Ton gehört werden. Beistehende Figur erläutert diess, nur muss bemerkt werden, dass die Puncte nicht

die Stösse, sondern nur die Maxima der Stösse andeuten, und dass man sich mitten zwischen den Puncten die Maxima der Verdünnung vorstellen muss. Diese Töne kann man sowohl durch Saiten- als Pfeifentöne zur Erscheinung bringen, wenn die primitiven Töne hinlänglich stark und anhaltend sind. Wird die $\bar{d}$ Saite einer Geige in $\bar{c}$ gestimmt und diese mit der $\bar{a}$ Saite anhaltend gestrichen, so kommt das tiefe A zum Vorschein. So erhält man mit $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{e}$ das c, mit $\bar{\bar{h}}$ und $\bar{\bar{d}}$ das g. Siehe Gehler's *physical. Wörterbuch.* 8. *p.* 318. Fechner's *Repert. I. p.* 257. Unter Umständen kömmt auch noch ein zweiter Tartinischer Ton zum Vorschein, wie sich schon aus den Voraussetzungen erwarten lässt und Blein beobachtet hat.

In obigem Beispiel wurde angenommen, dass beide Töne in demselben Moment ihren ersten Stoss machen. Ist das nicht der Fall, so wird auch ein vollständiges Coincidiren der Stösse nicht stattfinden können, sondern nur ein Maximum der Approximation an den bestimmten Zeitpuncten eintreten, d. h. der eine Ton hat dann hier das Maximum seines Stosses erreicht, wenn der andere es noch nicht erreicht hat, wie in beistehender Figur versinnlicht wird. Die Reihen *a* und *b* haben dieselben Intervalle, wie in obigem Beispiel, *a* macht 2 Stösse, während *b* 3 macht. Aus beiden Reihen entsteht die zusammengesetzte Reihe *c*. Diese sich wiederholende Approximation der Maxima ist aber auch schon hinreichend um wahrgenommen zu werden und den Tartinischen Ton hervorzubringen, der nur nicht so stark seyn kann, als im vor-



hergehenden Fall. Je grösser die Approximation der Maxima ist, um so stärker ist der Tartinische Ton. Hieraus wird zugleich klar, warum in der Beobachtung dieses Tons so viel Inconstantes ist, und wie auf ihn niemals in der Musik gerechnet werden könne.

Der Tartinische Ton, welcher immer tiefer ist, als die primitiven Töne, muss als subjectiver wohl unterschieden werden von den höheren Nebentönen der Saiten, Glocken u. s. w., welche ausser dem Grundton gehört werden, und welche zu den Flageolettönen gehören. Sie haben eine objective Ursache in dem tönenden Instrumente selbst.

Harmonie der Töne.

Musicalische Tonverhältnisse.

Die üblichen musicalischen Tonverhältnisse gründen sich theils

darauf, wie gross oder gering die Unterscheidungskraft des Gehörsinnes für den Gesammteindruck einer gewissen Zahl der Schwingungen ist, theils darauf, dass einfache Verhältnisse der Töne zu einander in Hinsicht der Zahl ihrer Schwingungen dem Sinn angenehm sind.

Am leichtesten aufzufassen ist für das Gehör das Verhältniss von 1 : 2 : 4 : 8 u. s. w., das des Grundtons zur Octave und zu weiteren Octaven. Töne, wovon der eine noch einmal so viel Stösse in derselben Zeit, als der andere macht, sind sich so ähnlich, dass sie nur als Wiederholungen wirken, daher wird das Verhältniss zweier Töne nicht wesentlich geändert, wenn man einen von beiden um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer nimmt. Leicht wahrnehmbar und angenehm, weil einfach, ist auch das Verhältniss von 2 zu 3 oder des Grundtons zur Quinte, von 4 zu 5 oder des Grundtons zur Terze. Bezeichnet man den Grundton mit 4, so ist die Terze also 5, die Quinte 6 und die Octave 8, oder nimmt man 1 als Grundton, so erhält man:

c	e	g	$\bar{c}$
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
Grundton,	Terze,	Quinte,	Octave,

welche vier Töne zusammen den einfachsten und wirksamsten Accord bilden, während schon die 3 ersten einen sehr angenehmen Dreiklang hervorbringen.

Hierbei ist jedoch die Musik nicht stehen geblieben, und es giebt noch andere Tonverhältnisse, welche einer leicht verständlichen angenehmen Anwendung fähig sind. Der Ton, zu welchem die Octave 2 eine Quinte bildet, oder sich wie 3 : 2 verhalten würde, ist $\frac{4}{3}$ oder f, er hat ein ebenso einfaches Verhältniss zum Grundton c als zur Octave $\bar{c}$, die Terze von g ist ferner $\frac{15}{8}$ oder h.

c	e	f	g	h	$\bar{c}$
1	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{15}{8}$	2

Zwischen c und e liegt noch ein Ton, der sich zu g der tiefern Octave, wie eine Quinte verhält, das ist d mit $\frac{9}{8}$.

Endlich verhält sich c zu d oder $1 : \frac{9}{8}$, wie ein zwischen g und h liegender Ton a zu h, es ist $\frac{5}{3}$.

Diess sind die Töne der musicalischen Tonleiter.

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

In dieser Reihe verhält sich

c	zu	d	wie	$1 : \frac{9}{8}$
d	»	e	»	$1 : \frac{10}{9}$
e	»	f	»	$1 : \frac{16}{15}$
f	»	g	»	$1 : \frac{9}{8}$
g	»	a	»	$1 : \frac{9}{10}$
a	»	h	»	$1 : \frac{9}{8}$
h	»	c	»	$1 : \frac{16}{15}$

Die Verhältnisse $1 : \frac{9}{8}$ und $1 : \frac{10}{9}$ nennt man ganze Töne oder grosse Intervalle, das Verhältniss $1 : \frac{16}{15}$ einen halben Ton oder kleines Intervall. Zwischen den Tönen, die durch das grosse

Intervall getrennt sind, werden noch kleine Intervalle oder halbe Töne unterschieden.

Die Erhöhung eines Tons um einen sogenannten halben oder um das Verhältniss $1:\frac{16}{15}$ ist natürlich der Erniedrigung des folgenden um ebenso viel nicht gleich, und also *cis* von *des* verschieden. Das Intervall $1:\frac{5}{4}$ oder c : e heisst die grosse Terze, das Intervall $1:\frac{6}{5}$ oder c : es die kleine Terze.

Bei einem consonirenden Accord von mehreren Tönen müssen sie ein einfaches Verhältniss zum Grundton haben, und auch unter sich in einem einfachen Verhältniss stehen. Nur in diesem Falle bringt die Vereinigung dieser Töne eine angenehme Wirkung hervor. c : e : g oder $1:\frac{4}{5}:\frac{3}{2}$ bilden einen harmonischen Dreiklang, denn e verhält sich zu c einfach wie 5 : 4, und g zu c wie 3 : 2, aber auch e und g consoniren; denn sie verhalten sich wie $1:\frac{6}{5}$. Dagegen werden c : es : e oder $1:\frac{6}{5}:\frac{5}{4}$ keinen harmonischen Accord bilden. Denn c consonirt zwar mit es wie $1:\frac{6}{5}$, und c consonirt mit e wie $1:\frac{5}{4}$; aber e und es consoniren nicht; denn $\frac{6}{5}:\frac{5}{4}$ ist $= 1:\frac{25}{24}$. Die Ursache der Harmonie ist also die Einfachheit der Zahlenverhältnisse.

Der Dreiklang des Grundtons mit der grossen Terze und der Quinte c : e : g oder $1:\frac{5}{4}:\frac{3}{2}$ heisst der Durdreiklang, der Dreiklang des Grundtons mit der kleinen Terze und der Quinte c : es : g oder $1:\frac{6}{5}:\frac{3}{2}$ heisst der Molldreiklang. Sie bestehen beide aus einer grossen Terze und einer kleinen Terze $\frac{5}{4}$ und $\frac{6}{5}$, beide zusammen bilden eine Quinte. Im Durdreiklang geht die grosse der kleinen Terze, im Molldreiklang die kleine der grossen Terze voraus. Beide Dreiklänge haben eine verschiedene Wirkung auf das Gehör. Beim Durdreiklang ist die Consonanz befriedigender als beim Molldreiklang.

Auch die Dissonanzen sind von angenehmer Wirkung auf das Gehör, wenn sie den Uebergang zu Consonanzen bilden, und die Dissonanzen also aufgelöst werden. Ein dissonirender Accord enthält ausser consonirenden Intervallen, auch ein dissonirendes. Mit dem Grundton, der Terze und der Quinte consonirt die Octave, die Septime aber dissonirt. Der Septimaccord kann als Beispiel eines dissonirenden Accordes dienen, er enthält zu Grundton, Terze und Quinte noch die Septime. Eine Dissonanz wird aufgelöst durch einen Accord, der statt des dissonirenden Tons den consonirenden enthält, oder mit dem dissonirenden Ton consonirt. Das Verhältniss ist ein Aehnliches, wie beim Sehen mehrerer Farben, die Disharmonie von Blau und Roth wird aufgelöst, dadurch, dass zwischen beide eine andere Farbe tritt, welche harmonisch zu einer von beiden, indifferent zur andern ist. Grün zwischen Roth und Blau löst die Disharmonie auf, weil es harmonisch mit Grün, indifferent gegen Blau ist. Dieselbe Wirkung thut Orange, welches harmonisch zu Blau, indifferent zu Roth ist. Siehe oben p. 375. Die Wirkung der Dissonanzen sowohl als Consonanzen auf das Gehör hat Descartes sehr gut in der von Chladni angeführten Stelle bezeichnet. Inter objecta sensus illud non animo gratissimum est, quod facile sensu percipitur, neque etiam difficillime, sed quod non tam facile, ut

naturale desiderium, quo sensus feruntur in objecta, plane non impleat, neque etiam tam difficulter, ut sensus fatiget. Die Harmonie der Octaven ist zu einfach, um zu befriedigen, und selbst die Dissonanz wird befriedigend, wenn sich ihre schwierige Auffassung in ein leichteres Verhältniss abspannt.

Die Anwendung der Intervalle mit arithmetischer Reinheit, wie sie das Gehör an sich erfordert, wird bei einer grössern Folge von Tönen unmöglich, wie aus folgendem von Chladni erwähnten Beispiel erhellt. Wenn man allein die Intervalle von g, c, f, d, g, c hintereinander rein ausübt, so hat schon das zweite c nicht mehr den Werth des ersten, und ebenso mit g. Rein ausgeübt verhält sich

g:c = 3:2
c:f = 3:4
f:d = 6:5
d:g = 3:4
g:c = 3:2

oder g:c:f:d:g:c verhält sich wie 243:162:216:180:240:160. Das erste Mal hat g den Werth von 243, das zweite Mal von 240, das erste Mal c den Werth von 162, das zweite Mal von 160 Bei weiterer Wiederholung würde man sich immer mehr von dem ursprünglichen Werthe der Töne entfernen. Die sogenannte Temperatur hilft diesem Uebelstande durch eine geringe aber dem Gehör unmerkliche Unreinheit der Töne ab, die Abweichung heisst die Schwebung. Wenn die Unreinigkeit gleichförmig vertheilt wird, so heisst die Temperatur gleichschwebend, wenn die Vertheilung ungleichförmig ist ungleichschwebend. Die erstere hat sich als brauchbarer allgemein in der Musik erhalten. Dagegen der Versuch die Reinheit einzelner Töne zwischen den Octaven zu erhalten nur zum grössern Nachtheil für die übrigen Töne ausfällt. Die Nachtheile der gleichschwebenden Temperatur sind dem Gehör nicht merklich, so wenig als überhaupt geringe Abweichungen in der Stimmung eines Instrumentes auffallen. Wären so kleine Unterschiede dem Gehör bemerkbar, so würde überhaupt die Ausübung der reinen Intervalle auf Instrumenten unmöglich seyn, da eine vollkommen reine Stimmung eines Instrumentes für den practischen Gebrauch schon mit den grössten Schwierigkeiten verbunden ist.

Ausführliche Belehrung über die Tonverhältnisse findet man in Chladni's *Akustik.*

Hören und Vorstellen.

Die Unterscheidung der Richtung des Schalls ist kein Act der Empfindung selbst, sondern des Urtheils, zufolge schon gewonnener Erfahrungen, aber wegen der Modification des Gehörs nach der Richtung des Schalls versetzt die Vorstellung den schallenden Körper in eine gewisse Richtung. Das einzige sichere Leitungsmittel hierbei ist die stärkere Wirkung des Schalles auf eines der beiden Ohren. Die Reflexion, die Resonanz, die ungeschwächte Fortleitung des Schalls durch die Luft gekrümmter Communicationsröhren machen jedoch auch hier vielfache Täuschung möglich.

Durch die condensirte Fortleitung des Schalles in lufthaltigen Röhren, oder durch feste Leiter auf einen fernen Resonanzboden kann die Täuschung entstehen, als wenn der Ort der Entstehung das Ende des Rohrs oder im zweiten Fall der Resonanzboden wäre. Ferner kann die Richtung des Schalles auch durch ein Ohr ermittelt werden, dadurch, dass dem Kopfe und Ohr eine verschiedene Stellung gegeben wird, wodurch die Schallwellen bald senkrecht, bald schief auf das Ohr einfallen müssen. Fällt das erst genannte und das letztere Hülfsmittel der Unterscheidung weg, haben beide Ohren eine gleiche Stellung gegen den Ort des Schalls, wenn er z. B. vor oder hinter uns erregt wird, so haben wir kein Mittel zu unterscheiden, ob die Schallwellen von vorne oder hinten kommen, wie aus Venturini's Versuchen (Voigt's *Magazin B.* 2.) und schon aus physicalischen Gesetzen folgt. Die Wellen bewirken nicht bloss den verdichtenden Stoss in einer, sondern auch den verdünnenden Stoss in der entgegengesetzten Richtung; folgen sich mehrere Wellen auf einander, so wechseln beiderlei Stösse regelmässig mit einander ab. Würde man auch die Richtung des Stosses selbst auf den Nerven unterscheiden können, so hätte man doch im zuletzt erwähnten Fall ebenso viel Grund den Schall in die eine, als in die entgegengesetzte Richtung zu setzen.

Die Bauchredner benutzen die Unsicherheit der Unterscheidung der Richtung des Schalls und die Macht der Vorstellung auf unser Urtheil, indem sie in eine gewisse Richtung sprechen und thun als wenn sie von dort aus den Schall hörten.

Die Entfernung des Schalls wird nicht empfunden, sondern nach seiner Stärke beurtheilt, der Schall selbst ist immer an einem und demselben Ort in unserm Ohr, den schallenden Körper setzen wir nach aussen. Die Dämpfung der Stimme, wie sie gehört wird aus der Ferne, erregt auch die Vorstellung ihrer Ferne, wie beim Bauchreden.

Die Vorstellung wirkt aber auch auf den Act der Empfindung selbst ein, und die Empfindung erhält durch die Aufmerksamkeit Schärfe. Diese unterscheidet einzelnes bestimmtes Geräusch unter mehreren oder vielen Tönen stärker, begleitet das Spiel eines einzelnen Instrumentes in einem vollen Orchester. Wird uns durch beide Ohren von verschiedenen Personen verschiedenes gesagt, so vermengen sich beiderlei Eindrücke; nur durch angestrengte Aufmerksamkeit und bei Ungleichheit des Klanges von beiderlei Tönen sind wir im Stande der einen Reihe zu folgen und die andere Reihe als störendes Geräusch mehr oder weniger zu überhören. Die willkührliche Steigerung der Aufmerksamkeit auf Töne heisst das Horchen. Fehlt die Intention der Seele auf das, was durch den Hörnerven dem Sensorium commune beigebracht wird, so hören wir selbst den vorhandenen Schall nicht. Oft aber auch wird Etwas nur so schwach gehört, dass man es wegen Mangel an Aufmerksamkeit bei anderweitiger Beschäftigung augenblicklich überhört, hernach aber sich des Schalls erinnert und Aehnliches kömmt bei andern Sinnen vor. Die entgegengesetzten Acte des Vorstellens stören sich gleichsam, wie Wellen von entgegen-

gesetzten Eigenschaften, welche nach dem Durchgang durch einander ihre Bahn fortsetzen.

Nachempfindung des Gehörs.

Schon aus den oben angeführten Versuchen von Savart folgt, dass der Eindruck der Schallwellen auf den Gehörnerven etwas länger dauert, als der Durchgang der Wellen durch das Ohr. Durch eine sehr lange Dauer oder lange anhaltende Wiederholung desselben Schalles lässt sich aber die Nachempfindung im Nerven noch viel länger, ja über 12 — 24 Stunden festhalten, wie jeder weiss, der mehrere Tage ohne Unterbrechung in einem schweren Postwagen gefahren ist. Leicht hört man dann in der Ruhe sehr lange das Poltern und Geräusch fort.

Hieraus lässt sich einsehen, dass das Empfinden des Schalles als Schall nicht in letzter Instanz von der Existenz der Stosswellen abhängt, und dass der Schall als Empfindung ein Zustand des Gehörnerven ist, der durch Stösse zwar erregt werden kann, aber auch in anderer Weise möglich ist. Beim Gesichtssinn hat man die Nachempfindungen durch die Annahme erklären zu können geglaubt, dass das Licht als Materie von der Retina eine Zeit lang festgehalten werde, wie bei der Absorption des Lichtes. Hier beim Gehör fällt dagegen die Unstatthaftigkeit einer solchen Erklärung sogleich in die Augen. Kein reizender Stoff und kein Stoss kann hier festgehalten werden, und wenn die durch den Stoss erregten Wellen perenniren sollten, so müssten es jedenfalls Fluctuationen des Nervenprincips selbst im Hörnerven seyn, die so lange erfolgten, bis das Gleichgewicht hergestellt ist.

Doppelthören.

Dem Doppeltsehen desselben Gegenstandes durch zwei Augen entspricht das Doppelthören durch 2 Ohren, dem Doppeltsehen mit einem Auge wegen ungleicher Brechung, das Doppelthören mit einem Ohr wegen ungleicher Leitung. Die erstere Art des Doppelthörens ist sehr selten. Hierher gehören die von Sauvages und Itard angeführten Fälle. In dem einen der zwei Fälle von Sauvages wurde ausser dem Grundton auch dessen Octave gehört, was, wenn es richtig, schwer erklärlich seyn würde. In dem Falle von Itard wurden durch beide Ohren verschieden hohe Töne gehört. Dergleichen Fälle mögen wohl bei aufmerksamerer Beobachtung nicht so selten seyn; mich ängstigte selbst einmal eine Art höhern Nachhalls, den ich bei Tönen von mässiger Stärke, wie der menschlichen Stimme hörte. Diese Erscheinung war aber sehr vorübergehend und sie ist mir seitdem nicht wieder vorgekommen, auch weiss ich nicht, ob der Nachhall von ungleicher Wirkung beider Ohren herrührte.

Die zweite Art des Doppelthörens, die nicht von der ungleichen Wirkung beider Ohren, sondern von ungleicher Leitung desselben Tones durch zwei Media zum Ohr herrührt, kann man leicht versuchen, z. B. wenn man den Ton eines im Wasser schal-

lenden Glöckchens bei verstopften Ohren durch die Luft hört und zugleich mittelst eines festen Conductors, der ans Ohr und ins Wasser gehalten wird, aus dem Wasser hört. Beide Töne sind an Stärke und Klang verschieden. Ebenso wenn man durch die mit Membran geschlossene Pfeife, die ins Wasser gehalten wird, einen Ton hervorbringen lässt, der auf die eine und andere Art, durch die Luft und durch den Conductor aus dem Wasser zu dem verstopften Ohre kommt.

Schärfe des Gehörs.

Beim Sehen muss die Schärfe des Gesichtes in verschiedene Fernen, für die räumlichen Unterschiede der Netzhauttheilchen, für Hell und Dunkel und für die Farbennüancen unterschieden werden. Beim Gehör giebt es keine Parallele zur Fähigkeit für verschiedene Fernen das Sehen einzurichten; auch die Schärfe der räumlichen Unterscheidung im Nerven fällt weg. So wie Einer im Hellen nur deutlich, ein Anderer nur bei mässigem Lichte deutlich sieht, so giebt es eine verschiedene Ausbildung des Gehörs für das Unterscheiden tiefer und hoher Töne. Und so wie ein scharf sehender doch die Farben schlecht unterscheiden und keinen Sinn für Farbenharmonie und Disharmonie haben kann, so fehlt bei gut Hörenden, welche auch schwaches Geräusch unterscheiden, zuweilen der Sinn für Unterscheidung der musicalischen Unterschiede der Töne und für Harmonie und Dissonanz, da hingegen auch ein Schwachhörender diesen Sinn haben kann. Manche Menschen hören im Allgemeinen gut, aber die Grenze des Hörens hoher Töne tritt bei ihnen bald ein. Wollaston hat Beispiele davon beobachtet. Schwerhörige hören zuweilen sehr hohe Töne noch ganz gut. Unter die Ursachen dieser Erscheinung gehört, wie oben erklärt worden, die zu grosse Spannung des Trommelfells aus was immer für einer Ursache. Manche Schwerhörige hören besser bei starkem Lärm schwächere Töne. *Paracusis Willisiana.* Willis beschrieb zwei Beispiele dieser Art, von einer Person, die sich nur unterhalten konnte, wenn eine Trommel neben ihr geschlagen wurde, einer andern, die nur während des Läutens der Glocken hörte. Aehnliche Fälle sind von Holder, Bachmann, Fielitz beobachtet. Siehe Muncke in Gehler's *physic. Wörterbuch.* 4. 2. *p.* 1220. Diese Erscheinung kann von einem Torpor des Gehörnerven herrühren, welcher zur Schärfung seiner Thätigkeit erregt werden muss. Zuweilen mag auch der Umstand, dass ein Schwerhöriger bei grossem Lärm besondere Töne so gut wie Andere hört, davon herrühren, dass er von dem Geräusch wenig, Guthörende aber viel davon gestört werden. So erklärt z. B. der Schwerhörige, von dem p. 438. berichtet wurde, dass er in einem fahrenden geschlossenen Wagen mit Andern sitzend, an der Unterhaltung sehr gut Theil nehmen kann. Die Anderen, sagt er, hören dann die Stimmen der im Wagen sprechenden nicht besser als er selbst, weil sie das Gerassel des Wagens stärker hören. Das zu scharfe Gehör, Hyperacusis entspringt von zu grosser Reizbarkeit des Hörnerven und entspricht der Pho-

tophobie beim Sehen. Die Ursachen des Mangels des musicalischen Gehörs sind unbekannt. Wer ein schlechtes musicalisches Gehör hat, wird bei einer schönen Stimme ein schlechter Sänger seyn.

Subjective Töne.

Rein subjective Töne sind nur solche, die nicht durch Stosswellen, sondern durch einen Zustand der Reizung im Hörnerven bedingt werden, der Hörnerve hört in jedem Zustande von Reizung diese als Schall. Hierher gehört das nervöse Klingen und Brausen in den Ohren bei Nervenschwachen, Hirnkranken und bei solchen, deren Hörnerve selbst krank ist und das Rauschen in den Ohren nach langem Fahren in polternden Wagen. Die Electricität erregte in Ritter's Versuchen einen Ton im Ohr. In diesem Fall wird die Affection des Hörnerven von dem blossen Strome des electrischen Fluidums bewirkt, der in der Retina Lichtsehen, in den Gefühlsnerven eine Gefühlsempfindung, in den Geruchsnerven einen phosphorigen Geruch, in den Geschmacksnerven einen säuerlichen oder scharfen Geschmack bedingt. Siehe die Einleitung in die Physiologie der Sinne.

Von den rein subjectiven Tönen müssen diejenigen unterschieden werden, deren Ursache nicht bloss im Hörnerven, sondern in einem in den Gehörwerkzeugen selbst erzeugten Schall liegt. Dahin gehört das Braussen bei Congestionen nach dem Kopf und Ohr, bei aneurysmatischer Ausdehnung der Gefässe. Oft schon hört man die einfache pulsirende Circulation des Bluts im Ohr, als stossweises Gezisch. Hierher gehört ferner das Knacken bei der Zusammenziehung der Muskeln der Gehörknöchelchen, das Rauschen bei der Zusammenziehung der obern Gaumenmuskeln, beim Gähnen, bei der Verdichtung der Luft der Trommel und Spannung des Trommelfells, beim Schneutzen, bei gewaltsamer weiter Abziehung des Unterkiefers u. s. w.

Das Ohrenbraussen von Verstopfung der Eustachischen Trompete lässt sich noch nicht hinreichend erklären.

Bei Henle findet die individuelle Eigenthümlichkeit statt, dass ein leises Fahren mit dem Finger über die Backe, ein Rauschen im Ohr bewirkt. Diess kann von einer Reflexwirkung vom Facialis auf das Gehirn und sofort auf den Acusticus, oder auch von einer Reflexbewegung der Muskeln der Gehörknöchelchen entstehen.

Sympathieen des Gehörnerven.

Reizungen des Gehörnerven können Bewegungen und auch Empfindungen in andern Sinnen hervorbringen. Beides geschieht wahrscheinlich nach den Gesetzen der Reflexion durch Vermittelung des Gehirns. Ein heftiger Schall bewirkt bei jedem Menschen ein Zucken der Augenlieder, bei Nervenschwachen ein Zusammenfahren des ganzen Körpers.

Die Empfindungen nach Gehöreindrücken sind vorzüglich Gefühlsempfindungen. Bei Nervenschwachen entsteht auf einen plötzlichen Schall zuweilen eine unangenehme Gefühlsempfindung, wie von einem electrischen Schlag im ganzen Körper, oder auch wohl eine Gefühlsempfindung im äussern Ohr. Manches Geräusch, wie das von Reiben des Papiers, von Ritzen in Glas u. dgl., erregt Vielen eine unangenehme Empfindung in den Zähnen, oder gar ein Rieseln durch den Körper.

Manchen Menschen soll bei heftigen Tönen der Speichel im Munde zusammenfliessen. Mehrere andere hierher gehörende Beispiele von Sympathie haben Tiedemann (*Zeitschr. f. Physiol. B.* 1. *H.* 2.) und Lincke *a. a. O. p.* 567. gesammelt.

Das Gehör kann ferner von vielen Theilen des Körpers aus, namentlich aber in Krankheiten des Unterleibs und in fieberhaften Affectionen, verändert werden. Auch in diesen Fällen ist die Vermittelung durch die Centraltheile wahrscheinlich.

Veränderungen des Gehörs durch Sinnesempfindungen anderer Art sind sehr selten. Hierher gehört die oben erwähnte Beobachtung von Henle an sich, dass leises Bestreichen der Backe ein Braussen im Ohr bei ihm erzeugt. Hin und wieder ist behauptet worden, dass auch Gefühlsnerven der Gehörempfindung, oder wenigstens der stärkern Leitung der Schallwellen zu dem Orte der Gehörempfindung fähig seyen. Eine solche Leitung ist in keinem Falle wahrscheinlich. Dass hingegen eine Gefühlsempfindung durch Reflexion auf den Gehörnerven wirke, ist sehr wahrscheinlich, da ähnliche Wechselwirkungen zwischen den anderen Sinnen vorkommen, und das Gehör auch Gefühlsempfindungen hervorruft. Allein die Wirkung einer Gefühlsempfindung auf das Gehör ist ausserordentlich selten.

Die Chorda tympani und der Nervus facialis sind dem Gehör fremd und nur in dem letztgenannten Sinne einer Wechselwirkung mit demselben fähig.

III. Abschnitt. Vom Geruchssinn.

I. Capitel. Von den physicalischen Bedingungen des Geruchs.

Der Geruchssinn wird in der Regel nur durch materielle Einwirkungen und entsprechende Veränderungen des Geruchsnerven zur Thätigkeit gereizt. Wie der Geschmackssinn ist der Geruchsnerve nach Art der materiellen Einwirkung unendlich vielfach bestimmbar.

Die erste Bedingung des Geruchs ist der specifische Nerve,

dessen materielle Veränderungen in der Form des Geruchs empfunden werden; denn kein anderer Nerve theilt diese Empfindung, wenn er auch von denselben Ursachen bestimmt wird, und dieselbe Substanz, welche für den Geruchsnerven riecht, schmeckt dem Geschmackssinn und kann dem Gefühlssinn scharf, brennend u. s. w. sein. Dass der Geruch ein Geschmack in die Ferne sei, wie Kant sagte, scheint mir nicht richtig.

Die zweite Bedingung des Geruchs ist ein bestimmter Zustand des Geruchsnerven oder eine bestimmte materielle Veränderung desselben durch den Reiz oder das Riechbare.

Das Riechbare sind bei den Luftthieren in der Luft äusserst fein vertheilte Stoffe, Ausdünstungen der Körper im gasförmigen Zustande, oft so subtiler Art, dass es kein Reagens für ihre Nachweisung, als eben den Geruchsnerven giebt. Bei den Fischen sind die riechbaren Stoffe im Wasser enthalten. Der Mangel aller nähern physicalischen Kenntnisse über die Art der Verbreitung der Riechstoffe lässt es ungewiss, wie man sich die Verbreitung dieser Stoffe im Wasser zu denken hat und ob sie so im Wasser aufgelöst sind, wie ein vom Wasser absorbirtes Gas. Die Auflösung dieser Stoffe im Wasser kann natürlich kein Grund seyn, den Fischen den Geruch abzusprechen und in die Nase der Fische den Geschmack zu setzen. Denn das Wesentliche der Geruchsempfindung liegt nicht in der gasförmigen Natur des Riechbaren, sondern in der specifischen Empfindlichkeit der Riechnerven und ihrem Unterschied von der specifischen Empfindlichkeit der Geschmacksnerven. Auch das Riechbare muss sich erst im Schleim der Nasenschleimhaut auflösen, ehe es die Geruchsnerven afficiren kann und dieselbe Art der Verbreitung muss hier stattfinden, die bei der Vertheilung eines Riechstoffes im Wasser geschehen mag. Auch ist wieder der Geschmacksnerve nicht allein für das flüssige oder feste Schmeckbare empfindlich; auch gasförmige Stoffe werden zuweilen geschmeckt, wenn sie sich in der Feuchtigkeit der Zunge auflösen, wie die schweflichte Säure und mehreres Andere. Es ist also denkbar, dass ein und dasselbe Princip in dem Geruchsnerven und in dem Geschmacksnerven verschiedene Empfindungen hervorrufe, in dem einen den Geruch, in dem andern den Geschmack. Die Ansicht von Treviranus, dass das Geruchsorgan der Luftthiere einer Lunge, dasjenige der Fische einer Kieme zu vergleichen sey, ist zwar im Allgemeinen ein gutes Bild, aber man darf sich eine Verwandlung der riechbaren Stoffe, die im Wasser aufgelöst sind, in gasförmige vor der Einwirkung auf den Geruchsnerven so wenig vorstellen, als die Kiemen nöthig haben, die im Wasser resorbirten oder aufgelösten Gase in luftförmige Gase vor der Aufnahme ins Blut zu verwandeln. Der Zustand, in welchem diese Gase im Blute enthalten sind, ist schon ganz derselbe, in welchem sie sich im Wasser befinden. Endlich sind die Geruchsnerven der Fische identisch mit den Geruchsnerven aller übrigen Thiere, sie entspringen an denselben Stellen des Gehirns, aus denselben Riechlappen des Gehirns, Lobi olfactorii, welche man selbst noch bei den Säugethieren als Geruchskolben des Gehirns wahrnimmt.

Eine weitere Bedingung zum Geruch ist die Befeuchtung der Nasenschleimhaut, denn eben die Feuchtigkeit ist das Vehikel, durch welches die Riechstoffe zunächst bis zum Nerven durchgehen. Im trocknen Zustande der Nasenschleimhaut riecht man gar nicht, und schon die Verminderung der Schleimabsonderung im ersten Stadium des Catarrh's ist mit Aufhebung oder Verminderung des Geruchs verbunden.

Bei den in der Luft lebenden Thieren ist auch eine Strömung der Riechstoffe durch das Geruchsorgan zum Geruch erforderlich; die Athembewegungen bedingen diesen Impetus der Riechstoffe; durch willkührliche Aenderung der Athembewegungen haben wir auf das Riechen Einfluss, wir unterbrechen den Geruch durch den Stillstand des Athmens und schärfen ihn durch wiederholte Inspirationen.

Bei den das Wasser riechenden Thieren fällt diese Bewegung grössentheils weg, da ihre Nase in der Regel nicht durchbohrt ist, und nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Athemorgan steht. Doch findet auch hier ein Ersatz für diese Strömung statt. Denn vermöge der Athembewegungen der Kiemendeckel wird beständig ein Strom des Wassers durch deu Mund ein und durch die Kiemenöffnung wieder ausgeführt.

II. Capitel. Vom Geruchsorgan.

Die Geruchsorgane der wirbellosen Thiere sind noch wenig bekannt, obgleich viele von ihnen scharf riechen, wie die Schmeissfliegen, die in faulende Thiersubstanzen ihre Eier legen, und sich selbst durch den Geruch der Stapelia hirsuta täuschen lassen. Die hieher gehörigen Beobachtungen über die Geruchsorgane der Gliederthiere siehe in R. Wagner *vergl. Anat.* 1834. 1. 467.

Das bei der Bildung und Abänderung des Geruchsorganes angewandte Princip ist Vermehrung der riechenden Oberflächen im kleinen Raume. In dieser Hinsicht sind sich Athemorgane und Geruchsorgane sehr verwandt.

Bei den Fischen und unter den nackten Amphibien beim Proteus anguinus nach Ruscónis Entdeckung geschieht die Vermehrung der Oberfläche durch Falten der Schleimhaut, die entweder neben einander liegen wie Kiemenblätter, wie bei den Cyclostomen, oder von einem Mittelpunct radial auslaufen wie beim Stör, oder von einer mittlern Leiste nach 2 Seiten parallel abgehen. Die Blätter sind oft wieder von Neuem in Büschel, Aeste u. s. w. abgetheilt.

Bei den meisten Fischen sind die Nasenhöhlen oberflächliche Gruben, welche den Gaumen nicht durchbohren. Bei Lophius piscatorius sind es gestielte Glöckchen, in deren Grund sich die Falten befinden.

Bei den Cyclostomen sind die Nasenhöhlen in eine vereinigt, ohne Scheidewand, sie ist mit einer Röhre versehen, die sich auf der Oberfläche des Kopfes (Petromyzon, Ammocoetes), oder am vordern Ende der Schnautze endigt (Myxinoiden). Diese Nasen-

röhre ist bei den Myxinoiden sehr lang und mit Knorpelringen versehen, ganz so wie die Luftröhre.

Bei den Cyclostomen ist die Nase durchbohrt und ein Gang durchbohrt den harten Gaumen. Bei den Petromyzon ist jedoch keine Oeffnung im weichen Gaumen, sondern der Nasengaumengang geht als blind geendigter Sack durch den harten Gaumen und liegt zwischen Schädel und Rachenhaut. Auch der Nasengaumengang der Ammocoetes ist blind geschlossen. Dieser Apparat dient daher bloss zum Einziehen und Ausspritzen des Wassers in und aus der Nase. Bei den Myxinoiden ist dagegen nicht bloss der harte, sondern auch der weiche Gaumen durchbohrt, und hinter der Nasengaumenöffnung liegt bloss eine segelartige, rückwärts gerichtete Klappe, welche zur Bewegung und Erneuerung des in der Nase enthaltenen Wassers zu dienen scheint.

Der Spritzapparat der Nase bei den Petromyzon und die bewegliche Klappe bei den Myxinoiden scheinen eine nothwendige Folge der übrigen Organisation dieser Thiere zu seyn. Zum Riechen ist Bewegung des Mediums gegen die riechende Fläche nothwendig, in der Luft riecht man nicht ohne Luftzug durch die Nase. Im Wasser geschieht die Erneuerung der riechbaren Wasserschichten, um den Kopf, dadurch, dass das Wasser zufolge der Athembewegungen zum Munde ein und an den Kiemenspalten ausströmt. Bei den Cyclostomen ist auf diese Weise die Erneuerung des Wassers in der Nase nicht möglich, wenn sie mit dem Maule saugen. Daher der Spritzapparat der Nase, durch welchen frisches Wasser in die Nase eingezogen und das alte ausgespritzt wird.

Die Nase der Amphibien ist immer durchbohrt. Bei einigen Proteiden geht die Nasengaumenöffnung nicht einmal durch den Knochen durch, sondern wegen der abortiven Beschaffenheit des nur im Fleisch liegenden Oberkiefers, durch die Oberlippe, diess ist aber nicht allgemeiner Character der Proteiden; denn beim Axolotl ist die Nasengaumenöffnung wie gewöhnlich von Knochen begrenzt Auch haben nicht alle Proteiden die der Fischnase ähnlichen Falten der Nasenschleimhaut, sondern nur der Proteus. Bei den beschuppten Amphibien und Vögeln treten muschelartige Fortsätze zur Vermehrung der Oberfläche auf. Die Säugethiere haben das Labyrinth des Siebbeins, die Muscheln und Nebenhöhlen der Nase. Die Vermehrung der Fläche in der untern Muschel ist unter den Säugethieren sehr bemerkenswerth. Die eigenthümlichsten Formen zeigen sich einestheils bei den Wiederkäuern, Einhufern u. A., und überhaupt häufiger bei Pflanzenfressern, anderntheils bei den Fleischfressern. Bei den Ersteren bilden die untern Muscheln ein Blatt, dessen befestigter Theil einfach ist, dessen anderer Theil sich in eine obere und untere Lamelle theilt, die sich nach entgegengesetzten Richtungen, das eine nach oben, das andere nach unten rollen, wie Rollen von Papier. Bei den Fleischfressern theilt sich dagegen der Stamm des Blattes in Aeste und Nebenäste, ohngefähr wie die Blätter am Lebensbaum des kleinen Gehirns. Die Muscheln des Menschen erscheinen gegen diese ausserordentliche Vermehrung der Oberfläche als Rudimente. Die Stensonschen Organe unterhalten bei vielen Säugethieren eine Verbindung

der Nase und des Mauls an der Stelle des Foramen incisivum. Von den Stensonschen Gängen ist noch das Jacobsonsche Organ zu unterscheiden, eine theils häutige, theils knorpelige Röhre, die auf dem Boden der Nase zwischen Vomer und Schleimhaut liegt, und mit dem Stensonschen Gange zusammenhängt. Die Function dieser Theile ist unbekannt. Rosenthal in Tiedemann's *Zeitschr. f. Physiologie.* 2. 289. Ueber den angeblichen Mangel der Geruchsnerven bei den Cetaceen siehe oben *B. I.* 3. *Auflage. p.* 781.

Die Nebenhöhlen der Nase scheinen nicht zum Geruch zu dienen. Mit Kampferdünsten geschwängerte Luft wurde in eine Fistel der Stirnhöhle von Deschamp, riechende Substanzen in die Highmorshöhle von Richerand eingespritzt, ohne dass sie gerochen wurden. Es scheint der Natur ziemlich gleich zu seyn, ob sie die Räume in den Knochen mit Luft oder Fett füllt, durch Beides werden die Knochen leichter, als sie ganz fest seyn würden. Bei den Vögeln werden viele Knochen des Stammes von Luft durch die Lungen und des Kopfes durch die Tuba gefüllt, beim Menschen nur einzelne Kopfknochen, die Zellen des Processus mastoideus und die Nebenhöhlen der Nase. Die Schleimhaut der Nase auch der Nebenhöhlen zeigt bei allen Thieren die Wimperbewegung.

Der Mechanismus der Leitung, der bei den andern Sinnen so verwickelt ist, ist beim Riechen sehr einfach. Die in der Luft schwebenden gasförmigen, vielleicht auch selbst pulverig fein vertheilten Riechstoffe werden durch die Bewegung des Einathmens in einem Strome den Schleimhautflächen zugeführt. Auch die strömende Bewegung der Luft nach aussen kann den Geruch erregen, wenn es sich um den Geruch von Stoffen handelt, die sich in den Athemwerkzeugen und Verdauungswerkzeugen nach oben entwickeln wie bei der Eructation. Nur die Art wie der Geruch gesteigert und gehindert wird, kann hier noch erwähnt werden.

Wir können den Geruch willkührlich aufheben, und uns vor der Empfindung unangenehmer Dünste so lange sichern, als wir das Einathmen durch die Nase zu unterbrechen vermögen.

Die Steigerung des Geruchs geschieht durch verstärktes Einziehen der riechenden Dünste oder auch schnell wiederholte kleine Inspirationen. Beim Spüren wird die Schichte eines Riechstoffes in der Atmosphäre aufgesucht, indem schnell wiederholte Inspirationsbewegungen in verschiedenen Richtungen gemacht werden. Die einmal aufgefundene Schichte des Riechstoffes in der Atmosphäre wird dann auf dieselbe Weise verfolgt und ergründet. Die Strömung der Riechstoffe kann auch durch den Wind begünstigt werden. Ohne zu spüren sollen Pflanzenfresser hierdurch oft die fern entwickelten Riechstoffe wittern.

Ausser dem Geruch findet in der Nase auch Gefühl durch die Nasenzweige vom 1. und 2. Ast des Trigeminus statt. Dahin gehört die Empfindung der Kälte, Wärme, des Juckens, Kitzels, Schmerzes, der Gefühlsmodus des Druckes in der Nase. Dass diese Nerven nicht den Geruchsnerven ersetzen können, sieht man deutlich bei Denjenigen, die gar keinen Geruch, aber eine sehr gute Gefühlsempfindung in der Nase haben. Vergl. oben *B. I.* 3. *Aufl. p.* 781.

Bei manchem Dunstförmigen ist es schwer die Gefühlsempfindung von der Geruchsempfindung zu trennen und was jeder von beiden gehört zu ermitteln, wie bei der Empfindung scharfer Dünste, des Ammoniakgases, Meerrettigs, Senfes u. s. w. Diese Empfindungen haben viel Aehnlichkeit mit den Gefühlsempfindungen, besonders wenn man bedenkt, dass diese scharfen Dünste einigermassen ähnlich auf die Schleimhaut der Augenlieder wirken.

III. Capitel. Von der Wirkung der Geruchsnerven.

Die Fähigkeiten der Thiere zu verschiedenen Gerüchen sind nicht gleich, und es muss von den Kräften der centralen Theile des Geruchsapparates abhängen, dass die Welt der Gerüche eines Pflanzenfressers eine ganz andere als die eines Fleischfressers ist. Die fleischfressenden Thiere sind mit dem schärfsten Geruch für specifische Eigenthümlichkeiten thierischer Stoffe, für das Auswittern der Spur begabt, haben aber keine merkliche Empfindlichkeit für den Geruch der Pflanzen, der Blumen. Der Mensch steht zwar in Beziehung auf die Schärfe des Geruchs weit unter den Fleischfressern, aber seine Geruchswelt ist mehr gleichartig ausgebildet.

Was beim Gefühlssinn das Schmerzhafte, beim Gesichtssinne das Blendende und die Disharmonie der Farben, beim Gehörsinn die Dissonanz, ist beim Geruchssinn der Gestank, der Gegensatz des Wohlgeruchs. Die Ursachen dieses Unterschiedes sind unbekannt, aber gewiss, dass Gestank und Geruch in der Thierwelt relativ sind, denn in dem uns Uebelriechenden treiben viele Thiere ihr Wesen. Ja selbst die Menschen zeigen sich darin sehr verschieden. Manche Wohlgerüche sind einigen unausstehlich, gebranntes Horn riecht manchen übel, anderen gut, ohne dass einer im letzten Fall hysterisch zu seyn braucht. Mehreren riecht Reseda nicht sehr sublim und mehr krautartig, wie Blumenbach anführt und auch ich bin in diesem Fall. Dass manche Gerüche unter sich in einem Gegensatz stehen, wie bei den Farben und Tönen, dass es auch hier Consonanzen und Dissonanzen gebe, ist zwar nicht im Einzelnen bekannt, aber sehr wahrscheinlich, da bei dem Geschmackssinn dasselbe gewiss ist. Auch die Nachempfindungen sind vom Geruchssinn nicht bekannt, obgleich schwerlich fehlend. Eine reine Beobachtung ist schwer, und der oft sehr lange in der Nase verharrende cadaveröse Geruch nach Sectionen kann nicht für einen Beweis der Nachempfindungen gehalten werden, da er wahrscheinlich objectiv ist, von Auflösung des Riechstoffs in dem Schleim.

Die subjectiven Gerüche ohne objective Riechstoffe sind noch wenig bekannt. Auflösungen von Stoffen die nicht riechen, wie von Salzen, in die Nase gespritzt, bewirkten keinen Geruch. Man weiss, dass das Reiben der electrischen Maschine einen phosphorigen Geruch erregt. Ritter beobachtete bei Anwendung des Galvanismus auf das Geruchsorgan am negativen Pol, ausser dem Drang zum Niesen und dem Kitzel, einen Geruch wie von Ammoniak, am positiven Pol einen sauren Geruch, beide Wirkungen

hielten beim geschlossen seyn der Kette an, und gingen bei Oeffnung derselben in die entgegengesetzten über. Manche riechen oft etwas Specifisches, was doch nicht da ist und was Andere nicht riechen können; bei nervenreizbaren Menschen kömmt dieses oft vor, aber es ereignet sich auch bei jedem Menschen.

Bei einem Manne, der immer einen übeln Geruch empfunden hatte, fanden Cullerier und Maignault die Arachnoidea mit Verknöcherungen besetzt und in der Mitte der Hemisphären des Gehirns scrophulöse in Eiterung übergegangene Bälge. Dubois hatte einen Mann gekannt, der nach einem Falle vom Pferde mehrere Jahre bis zum Tode einen Gestank zu riechen glaubte.

Ob stark riechende Stoffe in das Blut eines Individuums gebracht, einen Geruch vom Blute aus durch die Circulation bedingen, ist noch nicht versucht.

Kein Sinn steht übrigens in so inniger Wechselwirkung mit den instinktmässigen Wirkungen in der thierischen Oeconomie, als der Geruch und Geschmack. Die Gerüche erregen mächtig den Geschlechtstrieb der Thiere und bringen durch die Erregung des Gehirns und Rückenmarkes das Spiel der geschlechtlichen Wirkungen hervor.

Eine Zusammenstellung der auf den Geruch bezüglichen Thatsachen lieferte H. Cloquet, Osphresiologie Paris. 1821.

IV. Abschnitt. Vom Geschmackssinn.

I. Capitel. Von den physicalischen Bedingungen des Geschmacks.

Die Bedingungen des Geschmacks sind: 1) der specifische Nerve, 2) die Reizung dieses Nerven durch das Schmeckbare und 3) die Auflösung des Schmeckbaren in den Feuchtigkeiten des Geschmackorganes. Das Schmeckbare ist so schwer als beim Geruch ein bloss mechanischer Reiz, sondern eine materielle Veränderung des Nerven durch eine aufgelöste Materie, je nach der Verschiedenheit der Materien ist auch der Nerve unendlich verschieden bestimmbar und die Empfindung verschieden. Doch lässt sich die Erregung von Geschmack durch eine mechanische Veränderung der Geschmacksnerven nicht ganz als unmöglich ansehen. Druck, Zerrung, Stechen, Reiben der Zunge erregen zwar nur Gefühlsempfindungen, aber Henle beobachtete, dass ein feiner Luftstrom hier einen kühlend salzigen Geschmack wie von Salpeter bewirkt, und die mechanische Reizung des Schlundes und Gaumens bewirkt die Empfindung des Eckels, die dem Gefühl nicht, aber dem Geschmack so verwandt ist, dass sie davon nicht getrennt werden kann. Von den imponderabeln Materien bewirkt nur die Electricität Geschmack.

Ein schmeckbarer Stoff muss in der Regel entweder aufgelöst, oder wenigstens in der Feuchtigkeit der Zunge auflöslich seyn, nicht auflösliche Stoffe bewirken nur Gefühlsempfindungen der Zunge. Ob auch der blosse Contact eines nassen thierischen Nahrungsmittels und des lebendigen Organes Geschmack errege, ohne die in dem Nahrungsstoffe enthaltenen aufgelösten Theile ist zweifelhaft. Gase erregen zuweilen auch den Geschmack, wie die schweflichte Säure.

Zur innigen Einwirkung des schmeckbaren Stoffes ist die Befeuchtung der Zunge, gleichwie der Nasenschleimhaut beim Geruch nöthig. Besondere Leitungsapparate ausser dem Schleim der Zunge fehlen bei diesem Sinne. Daher sich die Untersuchung wie beim Geruchssinn sehr vereinfacht.

II. Capitel. Vom Geschmacksorgan.

Der Sitz des Geschmacks sind die Fauces und besonders die Zunge, die jedoch als Schlinkwerkzeug oft bei den Thieren wichtiger wird, so dass die zahlreichen Abweichungen dieses Organes in vergleichend anatomischer Beziehung nur wenig Interesse für die Physiologie des Geschmacks selbst haben und hier übergangen werden können. Wenn die Zunge fleischlos und spröde ist, wie bei den Fischen und vielen Vögeln (mit Ausnahme der Papageien, Enten, Gänse u. A.), so darf man deswegen doch nicht Mangel des Geschmackssinnes voraussetzen. Denn diese Empfindung ist eine Eigenschaft der ganzen Fauces, nicht eines besondern Organes, sondern der Schleimhaut jener Höhle. Nur bei denjenigen Thieren, welche ganze Thiere mit Federn und Haaren verschlingen, wird die Geschmacksempfindung schon durch die Art des Fressens vermieden, wie bei den Schlangen u. a. Hierher gehören auch die Insecten- und Körnerfressenden Vögel. Ueber das bewegliche, von Einigen für ein Geschmackswerkzeug gehaltene Organ am Gaumen der Cyprinen siehe oben p. 35.

Beim Menschen erregt die mechanische Berührung des weichen Gaumens die Empfindung des Eckels, was immer noch von einer Reflexion auf die Geschmacksnerven erklärt werden könnte, die Empfindlichkeit des Gaumens für schmeckbare Substanzen ist aber durch die Versuche von Dumas, Autenrieth, Richerand, Horn, Lenhossec, Treviranus, Bischoff bestätigt, ich empfinde deutlich den Geschmack des Käses am Gaumen, wenn ich z. B. ein Stückchen Schweitzerkäse am weichen Gaumen reibe. Dass der N. hypoglossus Bewegungsnerve, der Lingualis Empfindungsnerve der Zunge ist, geht aus den Versuchen von Dupuytren, Mayo und mir hervor, nach welchen die Reizung des Hypoglossus durch Galvanismus oder Zerrung, Zuckungen der Zunge, die Zerschneidung des Lingualis aber lebhafte Schmerzen bewirkt. Die Versuche am Lingualis erfordern in Beziehung auf Bewegung die Vorsicht, die auch bei den Versuchen über die Wurzeln der Rückenmarksnerven nöthig ist. Der Nerve muss erst vom centralen Theil abgeschnitten, und dann das peripherische Stück gereizt werden. Reizt

man den Lingualis, so lange er noch mit dem centralen Ende in Verbindung steht, so ist zu befürchten, dass eine Zuckung der Zunge und anderer Theile durch Reflexion entstehe, wie ich sie selbst neulich einmal beobachtete.

In Hinsicht der Controverse, welcher der Nerven der Zunge, ausser dem motorischen Hypoglossus, als Geschmacksnerve anzusehen sey, der N. lingualis oder glossopharyngeus, und der Ansicht von Panizza, Bischoff u. A. über diesen Punct verweise ich auf das früher mitgetheilte und Bischoff im *encyclop. Wörterb. der med. Wissensch.* R. Wagner tritt aus physiologischen und anatomischen Gründen der Theorie von Panizza bei (Froriep's *Not.* 1837. *N.* 75.), ebenso Valentin und Bruns Versuchen zufolge, während die Versuche von Kornfeld, Gurlt und mir jener Ansicht nicht günstig sind. Vergl. Muell. *Arch.* 1838. *CXXXIV.* Valent. *Repert.* 1837. 221. Valentin's Versuche betrachte ich nicht als entschieden zum Vortheil jener Theorie sprechend, da vierzehn Tage nach der Durchschneidung des Glossopharyngeus ein Thier wieder anfangen soll zu schmecken. Dieser Zeitraum ist so kurz, dass es gerade hierdurch wahrscheinlich wird, dass die Thiere den Geschmack nicht verloren hatten. Alcock's Versuche (*Lond. med. gaz.* 1836. *Nov.*) hatten kein ganz entschiedenes Resultat. Der Geschmack für Bitteres war nach Durchschneidung des Glossopharyngeus verloren, nach Durchschneidung des Lingualis nur am vordern Theile der Zunge verloren. Der Verf. theilt sowohl dem Glossopharyngeus als Lingualis und auch den Gaumenästen des Quintus Geschmack zu, die Versuche an diesen letztern Nerven fielen nicht ganz definitiv aus. Von grosser Wichtigkeit sind die pathologischen Beobachtungen, dass nämlich nach Zerstörung des Quintus der Geschmack verloren geht, wie in den Beobachtungen von Parry, Bishop und Romberg vorliegt. Druck einer Geschwulst auf den N. lingualis brachte Verlust des Geschmacks hervor. Siehe Muell. *Arch.* 1834. 132. und Romberg in Muell. *Archiv.* 1838. 3. *Heft.* Im letztern Fall war bei einer Person, die auf der einen Seite der Zunge nicht schmeckte und nicht fühlte, der Anfang des dritten Astes durch eine kleine Geschwulst verändert, der Glossopharyngeus aber gesund.

Dass der Lingualis der Hauptgeschmacksnerve der Zunge ist, halte ich aus den Versuchen von Magendie, Gurlt, Kornfeld und mir, so wie aus den pathologischen Beobachtungen von Parry, Bishop und Romberg erwiesen, nicht aber für erwiesen, dass der N. glossopharyngeus ohne Antheil am Geschmack am hintern Theil der Zunge und in den Fauces ist. Romberg schreibt ihm die Empfindung des Eckels zu, wodurch der Eingang in das Verdauungssystem geschützt wird.

III. Capitel. Vom Geschmack und von den Wirkungen der Geschmacksnerven.

Eine Theorie der verschiedenen Geschmackswirkungen ist vollends unmöglich. Das Qualitative des Geschmacks an sich, in

wie weit er von Geruch, Gefühl, Gesicht, Ton verschieden, ist hier, wie in allen Sinnen ein Unerklärliches. Das Wesen des Blauen als Empfindung lässt sich nicht übersetzen, es kann nur empfunden werden und man muss dabei stehen bleiben, dass es eine Eigenschaft der specifischen Nerven ist, dass der eine blau sieht, der andere Schall hört, der andere riecht u. s. w. Aber die Ursachen der Unterschiede mehrerer Empfindungen, deren ein und derselbe Nerve fähig ist, lassen sich wohl auffinden, wie es beim Gesicht, Gehör auch geschehen ist. Man weiss, dass der eine Ton von dem andern durch die Zahl der Stösse verschieden ist, dass bei den farbigen Eindrücken eine verschiedene Zahl der Wellen in gleicher Zeit stattfindet. Beim Geschmack, gleichwie beim Geruch sind wir weit von einer solchen Theorie entfernt.

Bellini wandte die alte Ansicht von der verschiedenen Form der kleinsten Theilchen der Körper zur Erklärung der verschiedenen Geschmäcke an, eine Ansicht, wogegen sich theoretisch Nichts einwenden lässt, die aber nicht bewiesen werden kann. Zur Zeit, wo man Alles aus chemischen Polaritäten erklärte, war auch die Anwendung der Polaritäten auf das Geschmacksorgan geläufig.

Ausser dem Geschmack empfindet die Zunge durch das Gefühl sehr fein und richtig, wie Wärme und Kälte, Kitzel, Schmerz, Druck und dadurch Form der Oberflächen.

Die Gefühlsempfindung kann in der Zunge seyn, während der Geschmack bleibt und umgekehrt. Siehe Muell. *Arch.* 1835. p. 139. Hieraus wird es wahrscheinlich, dass die Leiter für beiderlei Empfindungen, wie in der Nase, nicht dieselben sind. Begreiflicher Weise könnten in einem Nervenstamm Fasern von sehr verschiedenen qualitativen Eigenschaften enthalten seyn.

Aus den schon mitgetheilten Thatsachen geht hervor, dass der N. lingualis Ursache von Geschmacksempfindungen ist, aber die lebhaften Schmerzensäusserungen beim Durchschneiden dieses Nerven beweisen augenscheinlich, dass er auch Gefühlsnerve der Zunge ist. Auch dem N. hypoglossus kömmt ausser seiner motorischen Eigenschaft Gefühl zu. Siehe oben *B. I.* 3. Aufl. p. 666.

Da viele Substanzen während sie geschmeckt werden auch riechen, so ist der Gesammteindruck derselben für die Vorstellung oft mehr oder wenig vermischt. Durch Zuhalten der Nase lässt sich aber in solchen Fällen ermitteln, was dem Geruch angehört. Manche feine Weine verlieren sehr viel von ihrer Wirkung, wenn man beim Trinken die Nase zuhält.

Nach den Versuchen von Horn (*Ueber den Geschmackssinn des Menschen. Heidelberg* 1825.) scheinen nicht alle Substanzen auf den verschiedenen Papillen der Zunge gleich zu schmecken, eine Ansicht, worauf besonders auch die von dem ersten Geschmack oft verschiedenen Nachgeschmäcke zu führen scheinen. Horn hat Versuche mit einer Menge von Substanzen angestellt, welche theils gleich schmeckten in allen Regionen des Geschmacksorganes, theils sehr verschieden schmeckten, in der Gegend der Papillae filiformes und Papillae vallatae. In Hinsicht des Einzelnen verweise ich auf die Abhandlung.

Die Nachempfindungen sind beim Geschmack sehr deutlich und oft lange dauernd, das Schmecken einer Substanz verändert den Geschmack einer andern. Wenn ich Calamus Wurzel gekaut habe, so schmeckt mir nachher Milch und Caffe säuerlich; der Geschmack des Süssen verdirbt den Geschmack des Weines, der Geschmack des Käses erhöht ihn. Es ist also wie bei den Farben, wovon eine die Empfindung der ihr entgegengesetzten oder complementären erhöht. Doch ist es noch nicht gelungen die Gegensätze der Geschmäcke unter allgemeinen Principien wie bei den Farben aufzufassen; aber die Kochkunst benutzt die Consonanzen in der Folge und Verbindung der Geschmäcke von jeher practisch, gleichwie die Malerei und Musik die Grundsätze der Harmonie practisch angewandt haben, ohne das Gesetzliche zu kennen.

Häufige Wiederholung desselben Geschmacks hintereinander stumpft ihn immer mehr ab, so wie eine Farbe um so schmutziger erscheint, je länger sie betrachtet wird. Kann man bei verbundenen Augen zwar im Anfang weissen und rothen Wein unterscheiden, so verliert man doch bald diese Fähigkeit, wenn man öfter den einen und andern probirt, wie man leicht erfahren kann.

Kommen die schmeckbaren Substanzen nur einfach mit der Oberfläche des Organes in Berührung, ohne darauf herum bewegt zu werden, so werden sie oft sehr undeutlich, zuweilen gar nicht geschmeckt. Dagegen wird der Geschmack geschärft durch wiederholtes Andrücken, Reiben und Bewegen der schmeckbaren Substanz zwischen Gaumen und Zunge. Entweder ist hier der mit Impetus verbundene Eindruck stärker, wie beim Geruch, oder die Thatsache hängt von der schnellen Abstumpfung der schmekkenden Theilchen ab, so dass die Bewegung nöthig ist, um das schmeckbare auf immer neue, noch frische oder unermüdete Theilchen des Nerven zu bringen. Eine Wechselwirkung von 2 thierischen, sich berührenden Oberflächen, die Raspail neulich annahm, ist deswegen ganz unwahrscheinlich, weil die Reibung denselben Erfolg hat, wenn die schmeckbare Substanz auf andere Art auf der Zunge bewegt wird, ohne dass die Zunge den Gaumen berührt.

Die subjectiven Geschmäcke sind noch wenig bekannt. Ausser der Empfindung des Eckels von mechanischer Reizung der Zungenwurzel und des Gaumensegels gehört hierher die oben angeführte Beobachtung von Henle von Geschmacksempfindung durch einen feinen Strom der Luft und die Empfindung des säuerlichen und alkalischen Geschmacks bei der Belegung der Zunge durch zwei heterogene Metalle die kettenartig verbunden werden. Was der Erklärung dieser Erscheinung durch Zersetzung der Speichelsalze entgegen zu stehen scheint, wurde bereits oben B. I. 3. Aufl. 629. angeführt.

Auch eine Veränderung des Blutes scheint auf den Geschmack zu wirken, so wie narkotische Stoffe im Blut Veränderung des Sehens, Flimmern vor den Augen u. dgl. bewirken. Hierher gehört die Beobachtung von Magendie, dass Hunde, denen Milch ins Blut injicirt worden, mit der Zunge sich das Maul zu lecken

pflegen. Veränderungen des Geschmacks und eigenthümliche Geschmäcke von innerer Veränderung der Nerven sind wahrscheinlich, aber schwer von denjenigen Geschmäcken zu trennen, die von objectiven Ursachen ausser der Zunge, nämlich durch Veränderungen in dem Mundschleim entstehen.

V. Abschnitt. Vom Gefühlssinn.

Der Gefühlssinn hat eine viel grössere Ausdehnung als die übrigen Sinne; alle Theile, in welchen die Empfindung von der Gegenwart eines Reizes, als einfaches Gefühl bis zu den Modificationen des Schmerzes und der Wollust, und die Empfindungen der Wärme und Kälte möglich sind, gehören diesem Sinne an. Die äusseren Ursachen, welche diese Empfindung erregen, sind mechanische chemische, electrische Einwirkungen und Temperaturveränderungen. Diese Empfindungen dehnen sich aber über das ganze animalische und organische System aus, obgleich die Schärfe derselben in den verschiedenen Theilen äusserst verschieden ist. Selbst in die Sinnesorgane anderer Sinne dringt der Gefühlssinn ein, wo er dann durch andere Nerven als die specifischen Nerven der Sinnesorgane bedingt wird, so ist Gefühlsempfindung am Auge, im Ohr, in der Nase, im Geschmacksorgan. Die Nerven der Gefühlsempfindungen sind die mit Knoten an ihrem Ursprung versehenen hintern Wurzeln der Nerven des Vertebral- oder Spinalsystems, wozu zum Theil Gehirnnerven und alle Rückenmarksnerven gehören. Die sensoriellen Fäden, aus welchen diese hintern mit einem Knoten versehenen Wurzeln bestehen, gehen grössten Theils in die Nerven des animalischen Systems, zum kleinen Theil in die des organischen Systems ein, in ersteren die lebhafte, in letzteren die dunkle und wenig scharfe Gefühlsempfindung bedingend. Das sogenannte Gemeingefühl ist nichts Eigenthümliches, sondern nur das Gefühl in den innern Theilen, dessen Modus im krankhaften Zustande von der Müdigkeit bis zum Schmerz, und im gesunden von dem Gefühl des Behagens bis zur Wollust und zum Kitzel unendlicher Modificationen fähig ist.

Ausbreitung des Gefühls, Gefühlsorgane.

Das Tastgefühl ist dem Wesen nach nicht von der Gefühlsempfindung verschieden, der Unterschied liegt nur in der Beziehung des mit dem Gefühl versehenen Organes zur Aussenwelt. Jeder durch Gefühl empfindliche Theil, der an der Oberfläche liegt, hat in so fern Tastgefühl, indem er geeignet ist, die Empfindung von äussern Körpern angeregt zu erhalten. Hierzu

wird er noch geeigneter, wenn er fein unterscheidet und beweglich ist. Tastwerkzeuge sind dem zu Folge die ganze Haut, besonders aber die Hände, die Zunge, die Lippen, namentlich bei den Katzen und Seehunden, wo sie mit Tasthaaren versehen sind, die einen empfindlichen und nervenreichen Keim haben, die Nase bei den mit einem Rüssel versehenen Thieren, die Tentakeln der Mollusken, die Antennen und Palpen der Insecten, die fingerförmigen Fortsätze an den Brustflossen der Triglen, deren Nerven sogar von einer Reihe von eigenen Lappen oder Anschwellungen des Rückenmarks entspringen.

In der Haut ist das zum Tasten ausgebildete Gefühlsorgan, der Papillarkörper, kleine mit der Loupe zu sehende Unebenheiten der Oberfläche, welche von dem Rete Malpighii scheidenartig bedeckt sind und in welchen sich die Nerven endigen. Siehe Breschet und Roussel de Vauzème *Ann. d. sc. nat.* 1834. *T. I. p.* 167.

Ausführlichere Erörterungen über die Tastwerkzeuge gehören in die vergleichende Anatomie.

Die mit Gefühl versehenen Theile sind gewisse Regionen der Centralorgane des Nervensystems selbst, die Vertebralnerven oder Nerven des Spinalsystems und die meisten Organe durch diese.

In den Centralorganen giebt es solche Theile, welche ohne alle Empfindlichkeit zu seyn scheinen, wie die Oberfläche der Hemiphären, deren Verletzlichkeit ohne Empfindung in zahlreichen Erfahrungen bei Menschen und Thieren vorliegt. In Fällen, wo nach Kopfverletzungen bei bewussten Menschen, theilweise zerstörte und vorgefallene Theile der Oberfläche des Gehirns von dem übrigen getrennt werden mussten, ist dieses ohne alles Gefühl und Bewusstseyn geschehen.

Andere Theile der Centralorgane hingegen sind lebhafter Empfindungen fähig. Diese Empfindungen sind aber nicht überall Gefühlsempfindungen.

Die Centraltheile des Gesichtssinnes bewirken gereizt Lichtempfindungen. Man weiss aus alten Erfahrungen, dass Druck auf das Gehirn bei Menschen ein Sehen von Lichtern und Blitzen hervorbrachte. Doch giebt es auch Theile des Gehirns, welche der gewöhnlichen Gefühlsempfindungen fähig sind. Obgleich manches Kopfweh nur Gefühl in den Nerven der äussern Bedeckungen ist, so ist doch die Möglichkeit der Gefühlsempfindung, z. B. des Drucks und des Schmerzes auch im Gehirn möglich, wie in den Erfahrungen von chronischen Gehirnkrankheiten vorliegt, wo der Kranke ein mehr oder weniger deutliches Gefühl hatte von dem Orte einer Veränderung. Siehe Nasse *über Geschwülste im Gehirn p.* 26., in Abercrombie *über die Krankheiten des Gehirns, übersetzt von* De Blois. *Bonn.* 1821.

Im Spinaltheil des Gehirns und im Rückenmark kommen keine anderen Empfindungen als Gefühlsempfindungen vor. Diese Empfindungen werden theils an dem Orte ihres objectiven Sitzes, nämlich in der Mitte des Rückens, theils aber auch in den äussern Theilen, zu welchen die Rückenmarksnerven hingehen, gefühlt, als Schmerzen, Ameisenlaufen. Die letztern kommen zu-

weilen ohne alle örtliche Empfindung im Rücken selbst vor und die ersteren wieder zuweilen ohne jene. Die Ursache dieses merkwürdigen Verhältnisses ist unbekannt.

Die Gesetze, welche für die Empfindung in den Nerven bei Reizung derselben gelten, können hier übergangen werden, da alles dahin Gehörige schon in der Physik der Nerven mitgetheilt worden.

Wir haben es daher hier zuletzt nur mit den Gefühlsempfindungen zu thun, welche von den peripherischen Endigungen der Nerven aus erregt werden.

Ganz unempfindlich sind das Horn- und Zahngewebe bis auf ihre Keime, zu welchen Nerven gleich wie Gefässe hingehen. Das Stumpfwerden der Zähne von Säuren muss daher als eine Affection des Zahnkeimes angesehen werden; bei der röhrigen Bildung der Zahnsubstanz lässt sich indess eine Fortleitung der Säure durch die capillaren Röhren des Zahnes zum Keime leicht einsehen, mag die Säure nun an dem vom Schmelze unbedeckten Theil des Zahnes oder durch die häufigen Risse des Schmelzes einwirken.

An den Sehnen, Knorpeln und Knochen fehlt die Empfindlichkeit im gesunden Zustande, wie Haller in zahlreichen Versuchen bewies. Auch die Beinhaut der Knochen ist nach diesen Versuchen unempfindlich. Die Dura mater scheint eine Ausnahme zu machen. Es ist wenigstens gewiss, dass die Dura mater Nerven besitzt. Siehe oben B. I. 3. Aufl. p. 764. In Krankheiten können die Knochen sehr schmerzhaft werden, so wie auch die vom N. sympathicus versehenen schwach empfindlichen Organe des chylopoetischen Systems in Krankheiten sehr schmerzhaft werden. In Hinsicht der zahlreichen Versuche über diesen Gegenstand muss ich auf Haller's Zusammenstellung verweisen. Haller *elem. physiol. IV. p.* 271—289.

In den Muskeln ist die Empfindlichkeit viel geringer als in der äussern Haut, wie man beim Durchstechen der Haut und Muskeln mit einer Nadel sieht. In der Haut selbst zeigt sich eine grosse Verschiedenheit, wahrscheinlich je nach der Zahl der Nervenfasern, die sich in den verschiedenen Hauttheilen ausbreiten. Die hierher gehörenden, von E. H. Weber entdeckten Thatsachen sind bereits oben B. I. 3. Aufl. p. 711. mitgetheilt. An denselben Stellen der Haut, wo eine geringe Entfernung zweier gereizter Puncte wahrgenommen wird, werden nach Weber's Beobachtungen auch die Unterschiede der Temperatur und die Gewichte aufgelegter Körper am sichersten unterschieden. Auch die Grösse eines Gewichtes wurde an diesen Stellen stärker empfunden, und ein auf der Volarfläche des Fingers aufgelegtes Gewicht erschien grösser als der Druck desselben Gewichtes auf die Haut der Stirn. In den Schleimhäuten ist die Empfindlichkeit sehr gross, so weit sie dem respiratorischen System, den Sinnesorganen und den Geschlechtstheilen angehören und von animalischen Nerven abhängen, sehr viel geringer in dem Tractus intestinalis, dessen Empfindlichkeit hingegen im krankhaften Zustande zu dem höchsten Grade sich steigern kann. Das äussere

und innere Hautsystem unterscheiden sich in Hinsicht der Art ihrer Empfindungen noch darin, dass die aus inneren Ursachen eintretende und in Rückenmarksaffectionen häufige subjective Empfindung der Formication nur in der äussern Haut, nicht in den Schleimhäuten vorzukommen scheint.

Modi oder Energieen des Gefühls.

Der Modus der Gefühlsempfindungen ist so eigenthümlich, wie in irgend einem Sinnesorgane. Die Art, wie das Gefühl bei der leisesten Affection bis zur heftigsten die Gegenwart eines Reizes anzeigt, ist hier weder Ton, noch Licht und Farbe u. s. w., sondern eben das unbeschreibliche, das man Gefühl nennt, dessen Modificationen oft nur von der Ausdehnung der afficirten Theile abhängen. Das stechende Gefühl z. B. zeigt die Affection beschränkter Theilchen in heftiger Art, das drückende eine geringere Affection in grösserer Ausdehnung und Tiefe an. Der letztere Umstand unterscheidet das Gefühl des Drucks von dem Gefühl der blossen Berührung.

Die Empfindung des Stosses oder Schlages entsteht durch eine plötzliche Veränderung des Zustandes der Nerven von aussen oder innen, durch den mechanischen Einfluss eines Körpers, oder auch durch Störung des electrischen Gleichgewichts. Auch eine vom Gehirn aus bewirkte plötzliche Strömung des Nervenprincips im Erschrecken kann als Schlag oder Stoss gefühlt werden. Der Modus dieser Empfindung hängt also durchaus nicht von der mechanischen Wirkung eines Körpers ab.

Eine schnelle Wiederholung von Stössen bewirkt in einigen andern Sinnen eigenthümliche Empfindungen, deren Qualität von der Zeitfolge der Stösse abhängt, wie beim Gehörsinn und wie es scheint auch beim Gesichtssinne. Diese Art der Reizung hat hingegen gar keinen Erfolg beim Geruchs- und Geschmackssinne. Wie verhält sich in dieser Hinsicht der Gefühlssinn?

Eine schnelle Folge von gleichen Stössen, wie sie zur Empfindung eines Tones nöthig sind, wird vom Gefühlssinne als Schwirren empfunden. So fühlt man nicht bloss die Resonanz eines festen Körpers, sondern auch einen im Wasser erregten Ton, wenn man mit der Hand einen festen Körper, ein Stück Holz ins Wasser hält. Ist die Empfindung der Schwingungen stärker, und findet sie an reizbaren Theilen, wie an den Lippen statt, so kann sie den Gesammtausdruck des Kitzels haben, wie wenn man eine schwingende Stimmgabel der Lippe nähert. Dieselbe Empfindung entsteht leicht an der Zunge durch Schwingungen. Diess könnte auf die Vermuthung führen, dass auch bei den anderweitig entstandenen Empfindungen des Kitzels von Berührung, Schaukeln u. A. und der dem Kitzel nahe verwandten Wollust Schwingungen des Nervenprincips selbst in den Nerven mit bestimmter Geschwindigkeit stattfinden. Die Empfindung des Kitzels und der Wollust ist in allen dem Gefühl überhaupt unterworfenen Theilen des Körpers möglich, am heftigsten in

den Genitalien, geringer in der weiblichen Brust, in den Lippen, in der Haut und in den Muskeln.

Die Empfindung des Schmerzes scheint durch die Heftigkeit der Gefühlserregung bestimmt zu seyn.

Das Gefühl der Wärme und Kälte entsteht am leichtesten durch Veränderung des Zustandes der Materie in den thierischen Theilen, vermöge der physicalischen Wärme, aber oft auch entsteht das Gefühl der Wärme und Kälte, wo sie mittelst des Thermometers nicht nachweisbar sind, durch eine Verstimmung in den Nerven, und die plötzliche Empfindung der grössten Kälte und der Verbrennung scheinen sich sehr ähnlich zu seyn.

Bei der Vergleichung der Temperaturen ungleicher Medien durch das Gefühl kömmt übrigens auch die Mittheilungsfähigkeit der Körper für die physicalische Wärme in Betracht. Dieselbe Temperatur wirkt sehr viel stärker auf unsere Haut, und wird viel wärmer gefühlt, wenn es Wasser als wenn es Luft ist. Kaltes Wasser erscheint auch kälter als Luft von derselben Temperatur, weil das Wasser die Wärme unserem Körper schneller entzieht.

Gefühl und Vorstellung.

Eine Gefühlsempfindung wird immer dann bewusst, wenn das Sensorium commune darauf aufmerksam ist. Ohne diese Intention kann der organische Vorgang der Empfindung vorhanden seyn, aber sie wird nicht bemerkt. Durch die Intention der Vorstellung erhält eine Gefühlsempfindung auch grössere Schärfe und Intention. Eine schmerzhafte Empfindung ist um so schmerzhafter, je mehr sich die Aufmerksamkeit darauf richtet. Eine an sich unbedeutende Empfindung kann auch durch die Vorstellung eine sehr lästige Dauer erhalten, wie die Empfindung des Juckens an einer ganz beschränkten Stelle der Haut. Wenn Jemand beim Sprechen Theilchen Speichel umherspritzt, die uns im Gesichte treffen, so wird die Empfindung davon durch die Vorstellung des Speichels sehr gesteigert und dadurch langwierig.

Durch die Mitwirkung der Vorstellung und den Gebrauch der schon gewonnenen Erfahrungen kommen wir dahin, das Empfundene bald in uns, bald ausser uns zu setzen. An und für sich kann man nur den in den Nerven vorhandenen Zustand empfinden, mag er von aussen oder innen erregt seyn. Fühlen wir etwas an, so fühlen wir nicht das äussere Ding selbst, sondern nur die Hand, welche das Ding berührt, die Vorstellung der äussern Ursache bewirkt, dass wir das Empfundene den Körper selbst nennen. Wie die Vorstellung von der Aussenwelt als dem eigenen Körper entgegengesetzt zuerst erworben werde, ist schon oben p. 355. auseinander gesetzt. Vorstellung von fühlbaren Gegenständen beruht in letzter Instanz auf der Möglichkeit die verschiedenen Theile unseres Körpers als räumlich verschieden zu unterscheiden. Diese Unterscheidung wird durch den Gebrauch des Sinnes lebhafter und sicherer. Sie erlangt bei dem Erwachsenen einen solchen Grad von Gewissheit, dass wir selbst bei ei-

ner gezwungenen Lageveränderung unserer Körpertheile, wenn wir nicht auf diese Lageveränderung aufmerksam sind, uns die Gefühle dieser Theile in der relativen Ordnung vorstellen, welche die fühlenden Theile im naturgemässen Zustande haben. Daher die schon Aristoteles bekannte Erfahrung, dass ein zwischen zwei übereinandergelegten Fingern derselben Hand rollendes Kügelchen, wie zwei entgegengesetzte Kugelflächen, die verschiedenen Kugeln anzugehören scheinen, empfunden wird.

Die Ausdehnung einer Gefühlsempfindung über eine grosse Oberfläche erscheint der Vorstellung ceteris paribus als intensiverer Eindruck, als wenn nur ein kleiner Theil diese Empfindung hat. Weber fühlte warmes Wasser mit der ganzen darin getauchten Hand wärmer, als wärmeres Wasser, in das er nur einen Finger der andern Hand getaucht hatte. Aehnliche Erfahrungen macht man beim Baden in warmem und kaltem Wasser.

Da jede Empfindung mit einer Vorstellung verbunden ist und eine Vorstellung zurücklässt, welche reproducirt werden kann, so kann auch eine Vorstellung von einer Empfindung mit einer wirklichen Empfindung verglichen werden. So fühlen wir ein Gewicht schwerer oder leichter, als ein anderes, welches wir vorher empfunden haben, und wovon wir zur Zeit des Fühlens des zweiten Gewichtes nur noch die Vorstellung haben. E. H. Weber konnte sogar den Unterschied zweier Gewichte oder zweier Temperaturen deutlicher wahrnehmen, wenn er sie nach einander empfand, als wenn sie zu gleicher Zeit von verschiedenen Händen empfunden wurden. Die Fähigkeit der Vergleichung verliert sich aber mehr und mehr, je mehr Zeit zwischen der ersten und zweiten Empfindung verstreicht.

Gefühl und Bewegung.

Ein gewisser Grad von Gefühlsempfindung ist auch den Muskeln eigen, bei krankhafter Affection der Muskelnerven kann er sehr gesteigert seyn. Diese Empfindung steht nicht immer in geradem Verhältniss mit der Zusammenziehung der Muskeln und schon daraus ist es wahrscheinlich, dass es nicht derselbe Act in denselben Nervenfasern ist, welcher die Bewegung und die Empfindung in den Muskeln hervorruft. So z. B. kann die Empfindung von Krampf der Wadenmuskeln sehr heftig und die Bewegung dabei äusserst gering seyn. Dasselbe beobachtet man zuweilen in dem Musculus digastricus maxillae inferioris beim Gähnen. Bei einer Disposition zu wiederholtem Gähnen tritt zuweilen nach einem sehr heftigen Gähnen ein Krampf im vordern Bauch jenes Muskels ein, der äusserst schmerzhaft ist. Dann hat aber die Bewegung des Gähnens schon aufgehört und die krampfhafte Bewegung ist viel geringer, als sie während des Gähnens war.

Die Empfindung der Zusammenziehung in den Muskeln macht uns geschickt, die Kraft der Muskeln beim Widerstand gegen Druck und beim Heben der Gewichte zu vergleichen. Diese Empfindung der Gewichte ist nach Weber schärfer als die ihres einfachen Drukkes. Nach E. H. Weber nimmt man eine zwischen zwei Gewichten

stattfindende Gewichtsverschiedenheit noch dann wahr, wenn der Unterschied auch nur $\frac{1}{30}$ oder $\frac{1}{15}$ des einen Gewichtes beträgt. Hierbei kömmt es nicht auf die absolute, sondern auf die relative Grösse des Gewichtsunterschiedes an. Es ist übrigens nicht ganz gewiss, ob die Vorstellung von der angewandten Kraft der Muskelzusammenziehung allein von der Empfindung abhängig ist. Wir haben eine sehr sichere Vorstellung und Vorausbestimmung von dem Mass der vom Gehirn ausgehenden Nervenwirkung, welche nöthig ist, um einen gewissen Grad der Bewegung hervorzubringen. Ein Gefäss, dessen Inhalt wir nicht kennen, heben wir mit einem Mass von Kraft, die nach einer blossen Vorstellung voraus bestimmt und gemessen wird. War zufällig ein sehr schwerer Inhalt, z. B. Quecksilber darin, so entfällt uns das Gefäss leicht, oder zieht schnell die Hand herab, die es zu heben versuchte, weil das voraus bestimmte Mass der Zusammenziehung oder der Nervenwirkung falsch war. Diese Täuschung erfahren wir auch beim Gehen im Dunkeln auf einer Treppe, indem wir die Bewegungen für eine Stufe einleiteten, die nicht vorhanden war. Es könnte wohl möglich seyn, dass die Vorstellung des Gewichtes und des Druckes beim Heben und Widerstehen auch zum Theil nicht Gefühl im Muskel, sondern ein Wissen von dem Mass der vom Gehirn incitirten Nervenwirkung ist. Die Gewissheit der Kraftlosigkeit, ein Gewicht nicht ferner halten zu können, muss auch wohl von dem wirklichen Gefühl der Ermüdung in den Muskeln unterschieden werden.

Bei den Tastvorstellungen, von Empfindungen die mit Bewegung verbunden sind, drängt sich dieselbe Idee auf. Die Empfindung der Bewegung ist bei den Bewegungen der Hand sehr gering und die Menschen, welche die Lage der Muskeln für eine gewisse Bewegung nicht kennen, ahnden nicht einmal, dass die Bewegung der Finger am Vorderarm ausgeführt wird. Dennoch ist die Vorstellung von dem räumlichen Effect der Bewegung eine sehr bestimmte, und die dadurch hervorgebrachte Vorstellung von der Raumerfüllung eines Körpers und seiner Form hängt grossentheils von der Vorstellung des Bewegungseffectes ab. Es kann daher wohl seyn, dass das Sensorium, ohne dass Gefühle dazu nothwendig sind, doch die durch willkührliche Bewegung zurückgelegten Räume zu beurtheilen weiss, aus den Gruppen von Nervenfasern, denen der Strom des Nervenprincips zugewendet wird. Am bewunderungswürdigsten erscheint die Sicherheit des Masses der Bewegungen oder der sogenannte Muskelsinn bei allen Bewegungen, bei welchen das Gleichgewicht des Körpers oder äusserer von uns gestützter Körper bei sehr geringer Unterstützungsfläche, oder gar bei willkührlichen oder unwillkührlichen Bewegungen unseres ganzen Körpers erhalten wird.

Das Tasten ist nichts Anderes, als ein willkührliches Fühlen mit Bewegungen, wie das Spüren beim Riechen. Jeder empfindliche Theil, der durch Bewegungen in verschiedene räumliche Relationen zu äussern Körpern durch Berührung treten kann, ist auch tastend. Das Tasten ist daher keinem bestimmten Theil des Körpers allein eigen. Allerdings ist die Hand dazu am geschick-

testen durch ihren Bau, namentlich durch die Möglichkeit der Pronation und Supination, wodurch der Raum rotirend durchmessen wird, durch die Opposition des Daumens gegen die Hand, und durch die relative Beweglichkeit der Finger. Ferner hängt die Fähigkeit zum Tasten von der Feinheit des Gefühls und von der Isolirung der Empfindung in den Theilchen des empfindlichen Organes ab. Die regelmässige Furchung der Haut an der Hohlhand mit Ordnung der Hautpapillen in Reihen muss die Feinheit des Getastes erhöhen, insofern diese Unebenheiten leichter die Unebenheiten der Körper entdecken und leichter isolirt davon afficirt werden.

Bei der Bildung einer Tastvorstellung von der Gestalt und Ausdehnung einer Fläche, multiplicirt die Vorstellung das Mass der Hand oder des berührenden Fingers so oft, als diess Mass in dem Raum enthalten ist, den das bewegende Glied beim Tasten zurücklegt. Die Tastvorstellung von räumlicher Ausdehnung wiederholt diesen Act nach den verschiedenen Dimensionen des Körpers.

Nachempfindung und Gegensätze des Gefühls.

Die Nachempfindungen des Gefühls sind sehr lebhaft und dauernd. So lange der Zustand dauert, in den der Reiz das Organ versetzt hat, so lange dauern auch seine Empfindungen, wenn der Reiz längst entfernt ist. Die schmerzhaften, wie wollüstigen Empfindungen liefern davon Beispiele.

Die beim Sehen erörterten Verhältnisse über die Gegensätze der Empfindungen wiederholen sich bei den Gefühlsempfindungen. Wenn man in einer warmen Temperatur zugebracht hat, so fühlt man die geringste Erniedrigung der Temperatur als kalt, die sonst noch für warm gehalten worden wäre. Ein plötzlicher Unterschied von einigen Graden Wärme, kann, wenn die Wärme vorher anhaltend war, bis zum Frieren empfunden werden. Daher erkältet sich der Mensch in allen Climaten, auch den wärmsten leicht. Wärme und Kälte sind relativ. Das Warme ist der Empfindung kalt, je nach dem Zustand, worin das Organ ist. Ein Abnehmen eines lange dauernden Schmerzes ist Wohlthat, wenn die Reizung auch nur bis zu einem Grade sich ermässigt, der bei vorher gesunder Stimmung unerträglich erschienen wäre.

Subjective Gefühlsempfindungen.

Bei keinem Sinne sind die subjectiven Empfindungen aus von innen entstandenen Zuständen häufiger, als beim Gefühlssinn. Wollust, Schmerz, Gefühl der Kälte, Wärme, Leichtigkeits- und Schwergefühl, Gefühl der Ermüdung u. A. sind aus innern Ursachen möglich. Die Neuralgien, das Schaudergefühl, das Ameisenlaufen, die im Schlafe entstehenden spontanen Zustände der Geschlechtsorgane liefern auffallende Beispiele. Der mit dem Herzschlag verstärkte Strom des Blutes zu den Organen wird in fast allen Sinnesorganen empfun-

den, in jedem auf die dem Sinnesnerven eigene Weise, als pulsirende Lichtfigur im Sehnerven, als pulsirendes Zischen und Brausen im Ohr, als pulsirendes Gefühl im Gefühlsnerven. Diese Empfindung hat mechanische Ursachen, aber sie kann durch einen Zustand der Nerven bedingt werden, wo sonst der Puls nicht empfunden wird, und so wird oft der Puls in Theilen gefühlt, zu welchen keine verstärkte Bewegung des Blutes stattfindet. Auch die durch Vorstellungen erregbaren Empfindungen des Gefühls müssen hier erwähnt werden. So wie die geschmacksähnliche Empfindung des Eckels durch die lebhafte Vorstellung des Eckelhaften entstehen kann, so erregt auch die Vorstellung des Schmerzes oft den Schmerz, in einem Theil, der zum Schmerz disponirt ist. Ist ein Organ der Empfindung wie von Schiessen und Strömen dahin ausgesetzt, so entsteht das einige Zeit ausgebliebene Strömen, wenn man daran denkt. Die Vorstellung des Schauderhaften erregt die Gefühlsempfindung des Schauders; bei der Spannung, Rührung, Begeisterung, tritt bei Einigen ein Gefühl von Concentration im Scheitel und ein Rieseln durch den Körper ein; beim Erschrecken hat man Empfindungen in vielen Theilen des Körpers und selbst die Vorstellung des Kitzelns erregt dem Kitzlichen die Empfindung, wenn er sieht, dass Jemand die Bewegung macht.

Die meisten subjectiven Gefühlsempfindungen kommen bei Menschen von reizbarem Nervensystem, sogenannten Hypochondristen, und Hysterischen vor, von denen man zuweilen sagt, dass sie sich Schmerzen einbilden. Wenn darunter bloss vorgestellte Schmerzen verstanden werden sollen, so ist es gewiss unrichtig, dass man ihnen eingebildete Schmerzen zuschreibt. Der Schmerz ist niemals eine Einbildung und aus innern Ursachen gewiss so wahrhaft, wie von äussern, nur die Vorstellung des Schmerzes ist ohne Empfindung, aber über die Vorstellung des Schmerzes wird Niemand klagen. Allerdings aber kann das gereizte Vorstellen den vorhandenen Schmerz steigern und bei der Disposition zum Schmerz, den empfundenen Schmerz hervorrufen.

Die Sympathieen des Gefühlssinnes mit anderen Sinnen und mit den Bewegungen erfolgen durch Reflexion, das dahin gehörige ist in der Lehre von der Reflexion abgehandelt, und die Wechselwirkung der Gefühlsempfindungen mit den Absonderungen sind auch in der Nervenphysik erläutert worden.

